

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra výrobních strojů a konstruování

Návrh a optimalizace rámu osobního výtahu
Design and Optimisation of the Personal Elevator
Frame

Student:

Bc. Marian Slowioczek

Vedoucí diplomové práce:

doc. Ing. Jiří Fries, Ph.D.

Ostrava 2017

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra výrobních strojů a konstruování

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Marian Slowiczek**
Studijní program: N2301 Strojní inženýrství
Studijní obor: 3909T001 Konstrukční a procesní inženýrství
Specializace: 70 Zemní, těžební a stavební stroje
Téma: **Návrh a optimalizace rámu osobního výtahu**
Design and Optimisation of the Personal Elevator Frame
Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

V rámci diplomové práce zpracujte řešerši dané problematiky. Vypracujte obecný přehled parametrů a komponent nosného rámu výtahu určeného k dopravě osob a nákladu. Proveďte jeho konstrukční návrh včetně případné optimalizace jeho hmotnosti a výrobního procesu. Navrženou konstrukci podložte potřebnými pevnostními výpočty. Pro navržené konstrukční řešení zpracujete výkresovou dokumentaci v požadovaném rozsahu. Detailní specifikaci provozních, manipulačních a dalších parametrů určí zadavatel práce – Liftservis, s.r.o.

Seznam doporučené odborné literatury:


POLÁK, Jaromír a Aleš SLÍVA. *Dopravní a manipulační zařízení III.* 1. vyd. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2005. ISBN 80-248-0963-X.
JEŘÁBEK, K. *Metodika navrhování strojů.* 1. vydání, Praha: Ediční středisko ČVUT v Praze, 1999. 119 s.
KALÁB, K. *Části a mechanismy strojů pro bakaláře - části spojovací.* Ostrava: Ediční středisko VŠB-TUO, Ostrava, 2007. ISBN 978-80-248-1290-8
ČSN 01 6910 *Úprava písemností psaných strojem nebo zpracovaných textovými editory.* Praha: Český normalizační institut, srpen 1997. 36 s.
ČSN ISO 690 *Bibliografické citace. Obsah, forma a struktura.* Praha: ČNI, 1996. 32 s.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

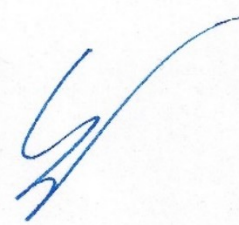
Vedoucí diplomové práce: **doc. Ing. Jiří Fries, Ph.D.**

Datum zadání: 09.12.2016

Datum odevzdání: 15.05.2017


doc. Dr. Ing. Ladislav Kovář
vedoucí katedry




doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě.....15. 5. 2017

.....Marian Glowiorsek

podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu,
- byl jsem seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. – autorský zákon, zejména §35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a §60 – školní dílo,
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§35 odst. 3),
- souhlasím s tím, že jeden výtisk diplomové práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB-TUO k prezenčnímu nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o diplomové práci, obsažené v Záznamu o závěrečné práci, umístěném v příloze mé diplomové práce, budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO,
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu §12 odst. 4 autorského zákona,
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše),
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě : 15.5. 2017

Marian Slowioczek

podpis

Jméno a příjmení autora práce: Bc. Marian Slowioczek

Adresa trvalého pobytu autora práce: Petrovice u Karviné č. p. 253 PSČ 73572

Poděkování

Tímto bych chtěl poděkovat panu Ing. Jiřímu Bobokovi a doc. Ing. Jiřímu Friesovi, Ph.D. za mé vedení při zpracování diplomové práce, rovněž také za poskytnuté informace a čas, který mi věnovali.

ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE

SLOWIOCZEK, M. *Návrh a optimalizace rámu osobního výtahu: diplomová práce.* Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra výrobních strojů a konstruování, 2017, 100 s. Vedoucí práce: Fries, J.

Diplomová práce se zabývá konstrukčním návrhem rámu výtahu a jeho pevnostní kontrole. V úvodu práce se zabývám rešerší na téma výtahy. Popisuji konstrukční celky, rozdělují výtahy a uvádím základní parametry výtahu. Na základně zadaných parametrů navrhuji konstrukci rámu, ta splňuje všechny požadavky na bezpečnost osob. Pevnostní kontrolu rámu jsem provedl pomocí metody konečných prvků v programu ANSYS Workbench 16. Ze zjištěných poznatků jsem přepracoval model pro simulaci. Po přepracování modelu jsem usoudil, že výsledek simulace je správný. Dále jsem provedl kontrolu proti prokluzu lana v lanové kladce. Při této kontrole jsem zjistil, že nedojde k prokluzu za žádné okolnosti.

ANNOTATION OF BACHELOR THESIS

SLOWIOCZEK, M. *Design and Optimisation of the Personal Elevator Frame: Master Thesis.* Ostrava: VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Production Machines and Design, 2017, 100 p. Thesis head: Fries, J.

Master thesis is dealing with the structural design of the lift frame and his strength check. The introduction deals with searches on the topic of elevators. I describe assemblies, elevators devide and mention the basic parameters of the elevator. On the base of given parameters, I suggest frame structure that meets all safety requirements. The strength check of the frame I made using the finite element method in program ANSYS Workbench 16th. From the findings, I revised the model for simulation. After rebuild the model, I decided the result is correct. As others, I've done traction control. During this control, I found that it does not slip under any circumstances.

SEZNAM POUŽITÝCH ZNAČEK A SYMBOLŮ

Značka	Popis	Základní Jednotka
a	jmenovité zrychlení výtahu	[m/s ²]
a _l	délka uložení čepu v rámu	[m]
d	průměr lana	[m]
d _{os}	průměr osy kladky	[m]
e	Eulerovo číslo	[-]
f	součinitel tření v klínové drážce	[-]
g	gravitační zrychlení	[m/s ²]
i	lanový převod	[-]
k _G	minimální bezpečnost lana určená z grafu	[-]
k _p	součinitel poměru kladek	[-]
k _{vyp}	vypočítaná bezpečnost kladek	[-]
l	délka náboje kladky	[m]
m	hmotnost	[kg]
m _k	hmotnost kabiny	[kg]
m _{nkl}	hmotnost lan nad klecí	[kg]
m _{npr}	hmotnost lan nad protizávažím	[kg]
m _o	hmotnost operátoru	[kg]
m _p	hmotnost protizávaží	[kg]
m _r	hmotnost rámu	[kg]
n	počet lan	[-]
o	počet osob	[-]
p ₁	měrný tlak mezi osou a nábojem kladky	[Pa]
p ₂	měrný tlak mezi osou a rámem	[Pa]
p _{A1a(Z3)}	tlak na první vzpěře při působení zrychlení a rovnoměrném zatížení	[Pa]
q _l	hmotnost 1 m délky lana	[kg/m]
A	šířka tenzometru	[m]
A ₁ - A ₄	označení vzpěr podlahy	[-]
B	délka tenzometru	[m]
D _p	střední průměr všech kladek	[m]
D _t	průměr třetího kotouče	[m]
F	zatěžující síla na jednu osu	[N]
F ₁	zaručená únosnost lana	[N]
F _a	síla od zatížení maximální nosností při působení zrychlení	[N]

F_{A1}	síla působící na vzpěru při největším zatížení na jednu vzpěru	[N]
$F_{A1a(Z1)}$	síla na první vzpěře při působení zrychlení a největším zatížení na jednu vzpěru	[N]
$F_{A1a(Z3)}$	síla na první vzpěře při působení zrychlení a rovnoměrném zatížení	[N]
F_c	celková síla působící na rám	[N]
F_C	celková síla působící na lano	[N]
F_R	síla působící na jednu vzpěru při rovnoměrném zatížení	[N]
F_S	stálá síla způsobená zátěží kabiny a operátoru	[N]
F_{Sa}	síla vyvozená od hmotnosti kabiny a jejího příslušenství při působení zrychlení	[N]
F_Q	síla způsobená nosností	[N]
F_Z	síla na každém laně	[N]
HL	hloubka kabiny	[m]
L	délka mezi reakcemi	[m]
L_k	délka lana nad kabinou	[m]
L_Z	délka lana nad protizávažím	[m]
M_o	ohybový moment	[Nm]
N_{equiv}	ekvivalentní počet ovládaných kladek	[-]
$N_{equiv(p)}$	ekvivalentní počet kladek	[-]
$N_{equiv(t)}$	ekvivalentní počet hnacích kotoučů	[-]
N_{pr}	počet kladek se střídavým ohybem	[-]
N_{ps}	počet kladek s ohybem ve stejném smyslu	[-]
P	tíha klece výtahu	[kg]
Q	nosnost výtahu	[kg]
$Q_{125\%}$	nosnost výtahu zvětšená o 25%	[kg]
Q_C	celková tíha působící na rám	[kg]
R	reakce v podporách	[N]
S	plocha tenzometru	[m ²]
S_o	plocha průřezu osy	[m ²]
S_K	užitná plocha kabiny	[m ²]
\check{S}	šířka kabiny	[m]
T_1	nabíhající tažná síla v laně	[N]
T_2	odbíhající tažná síla v laně	[N]
W_o	modul průřezu ohybu	[m ³]
α	úhel opásání třetího kotouče	[°]
γ	úhel klínové drážky	[°]

μ	součinitel tření mezi drážkou a lanem	[-]
σ_o	ohybové napětí	[Pa]
σ_{Do}	dovolené napětí v ohybu	[Pa]
π	Ludolfovo číslo	[-]
τ_D	dovolené napětí ve střihu	[Pa]
τ_{MAX}	maximální střihové napětí	[Pa]
τ	napětí ve střihu	[Pa]

Obsah

SEZNAM POUŽITÝCH ZNAČEK A SYMBOLŮ	7
1 ÚVOD	11
2 VÝTAHY	12
2.1 DĚLENÍ VÝTAHŮ	14
2.1.1 Rozdělení podle typu pohybu	14
2.1.2 Rozdělení dle pohonů	15
2.1.3 Rozdělení dle užití	17
2.1.4 Rozdělení dle konstrukce	20
2.1.5 Rozdělení dle technického provedení pohonu	22
2.2 ZÁKLADNÍ POPIS VÝTAHU	23
2.3 KOMPONENTY VÝTAHU	24
3 KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ VÝTAHOVÉHO RÁMU	32
4 KONTROLNÍ VÝPOČTY NOSNÉHO RÁMU	41
4.1 MKP Analýza	42
4.2 Analýza rámu kabiny výtahu	44
4.2.1 Materiál konstrukce	45
4.2.2 Vytvoření výpočtového modelu	46
4.2.3 Vytvoření dotyků	50
4.2.4 Vytvoření sítě	53
4.2.5 Vytvoření zatížení	57
4.2.6 Umístění vazeb	63
4.2.7 Výsledky simulací	66
4.3 Určení hmotnosti protizávaží	73
4.4 Určení maximálního počtu osob ve výtahu	74
4.5 Výpočet nosných lan	75
4.6 Trakční výpočty	78
4.7 Kontrola osy kladek analyticky a pomocí metody MKP	83
5 ZÁVĚR	90

1 ÚVOD

V této práci vytvářím konstrukci výtahového rámu. Zadaná kritéria, dle kterých jsem postupoval při konstrukci rámu dodala firma Liftservis. Základním požadavkem na ocelový rám je nosnost 450 kg, rozměr mezi vodítky 900 mm a normálové zrychlení klece výtahu 1 m/s^2 . Při navrhování jsem postupoval v souladu se zadanými hodnotami a dle platných norem.

Při konstrukci jsem nejprve začal tvorbou modelů v CAD systému. Systém CAD mi umožnil prostorové umístění jednotlivých komponent vůči sobě a zaručil jejich správnou velikost. Při práci bylo nutné brát ohled na to, aby jednotlivé díly byly jednoduše vyrobitelné pomocí vypalování a následném ohýbání. Také jsem bral v potaz maximální tloušťky a délky plechů které může dílna vyrobít s ohledem na výrobní možnosti strojů. Vzhledem k tomu, že se rám musí převézt na místo a smontovat ve výtahové šachtě jsou jako spojovací prvky určeny převážně šrouby. Jenž mají zásadní vlastnosti, a to snadnou montáž a demontáž. Celková konstrukce je navrhována s co nejmenší hmotností kvůli možnosti volby menšího elektromotoru.

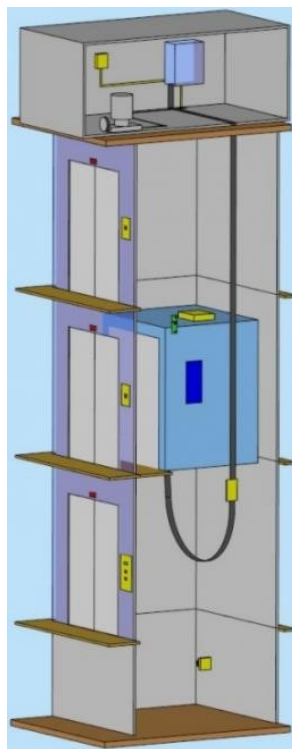
Dalším krokem mé práce je simulace namáhání celého rámu od provozních zatížení. Tento krok je tím nejdůležitějším, proto jsem mu věnoval náležitou část celé práce. Jako první se věnuji počátečním podmínkám simulace, určuji materiál, dávám pevné vazby, vytvářím síťování a kontroluji doteky. Musím simulovat několik kombinací zatížení (rovnoměrné, převaha na jedné vzpěře ...) při třech stavech (stání, rozjezd, působení zachycovačů). Nakonec jsem provedl vyhodnocení výsledků.

Také uvádím kontrolu trakce na třecím kotouči výtahového stroje. Tato kontrola je nutná k tomu, abychom zajistili správnou funkčnost výtahu (zjistíme, zda nedochází k prokluzům při nejméně příznivých situacích). Rovněž jsem provedl určení hmotnosti protizávaží. Zabývám se také maximálním počtem osob ve výtahu a s tím související užitná plocha kabiny. Jako poslední mám uvedenou kontrolu os kladnic, jež nesou tíhu celé klece výtahu.

2 VÝTAHY

Výtahy jsou strojní zařízení určené k přepravě osob nebo nákladu ve směru svislém (v některých speciálních případech, také v šikmém směru). Klasickou podobu výtahu ve výtahové šachtě můžeme vidět na obrázku 1. Směr pohybu výtahů je neměnný. Konstrukce celého výtahového komplexu má část jednak strojní (klec výtahu, pohonná stanice, bezpečnostní prvky atd. ...) tak stavební v podobě konstrukčního řešení výtahové šachty. Tato strojní zařízení musí umožnit bezpečný, úsporný (myšleno po energetické stránce) a pohodlný pohyb osob, věcí, a dokonce i zvířat. Pohyb je realizován ve směru nahoru a dolů. Výstup z kabiny je většinou napojen na např. chodby a haly v panelových domech. Toto neplatí vždy nezdědka jsou výstupy realizovány přímo do bytových prostor, zde je však nutná ochrana před vniknutím nežádoucích osob. Výtahy se montují do budov a objektů různého provedení i určené k různým druhům činností. S tím souvisí také požadavky na konstrukci. Jiné budou u důlního výtahu, který dopravuje osoby i náklad po dráze dlouhé několik set metrů než u osobního výtahu v panelovém domě, který má dráhu dlouhou několik metrů. V objektech nemusí být pouze výtah, ale může být kombinace výtahu schodiště a eskalátoru. Ve většině budov, které mají výtah musí být také požární (únikové, nouzové) schodiště. Což je určeno pro rychlou a bezpečnou evakuaci například při požáru. Zvláštním typem je potom požární výtah, jenž je nutný u mrakodrapů pro usnadnění přístupu hasičům.

Výtah je vyhrazené technické zařízení, patřící do podskupiny zdvihadla. Vyhrazená technická zařízení dle zákona č. 174/1968 Sb. jsou zařízení se zvýšenou mírou ohrožení zdraví a bezpečnosti osob a majetku, která podléhají doзору podle tohoto zákona. Výtahy musí být u budov které mají vstupy do bytů v úrovni 5. a vyššího patra, jinak dáno vyhláškou číslo 398/2009 Sb. bezbariérové užívání staveb. Výtah může být umístěn uvnitř i zvenčí budovy.



Obr. 1. Průřez výtahovou šachtou [9]

Definice

Výtahy jsou strojní zařízení dělané pro zdvih a spouštění osob nebo majetku mezi minimálně dvěma místy nacházejících se vertikálně nad sebou.

Základní parametry výtahu jsou nosnost a jmenovitá rychlost

Řady rychlostí výtahu: 0,4 (hydraulické výtahy); 0,63; 1; 1,6; 2,5 m/s poslední dvě hodnoty jsou pouze pro elektrické výtahy.

Nosnosti jsou: 320, 400, 630, 800, 1000, 1250, 1600, 2000, 2500 kg

Vedlejší parametry jsou:

- Ovládání a provedení dveří v šachtě
- Četnost spínání a zatěžovatel
- Rozměry šachty, klece, strojovny
- Maximální výška zdvihu a počet pater (stanic)
- Možnosti napětí el. sítě v budově
- Druh řízení
- Umístění a prostředí v domě

Výtahy jsou také omezeny počtem přepravovaných osob. Tato hodnota se zjistí z jednoduchého vzorce, užitnou hmotnost podělíme 75 kg (reprezentuje jednoho pasažéra) a zaokrouhlíme na nejbližší nižší číslo. Poté dle normy zkontrolujeme, jestli máme dostatečnou užitnou plochu v kabině výtahu vztáhnoutou na jednoho pasažéra. Na jednoho pasažéra připadá okolo 0,13 m².

2.1 DĚLENÍ VÝTAHŮ

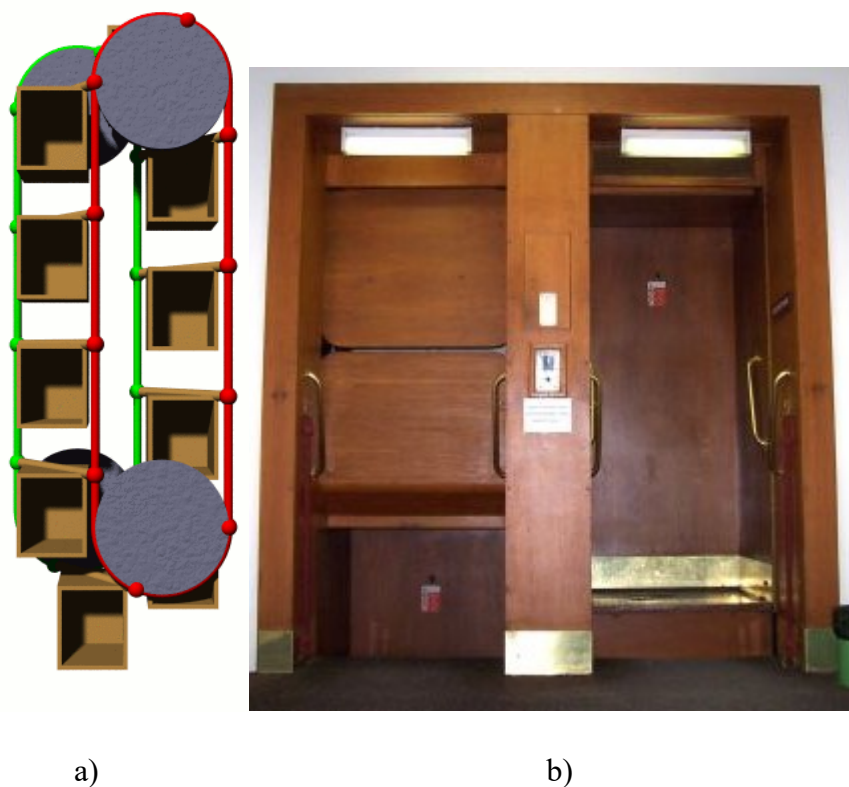
Výtahy mají spousty konstrukčních provedení, které jsou důsledkem výhod a nevýhod určitých konstrukčních řešení a rozmanitostí různých firem po celém světě, proto je můžeme dělit dle různých hledisek. Rozdělit je lze například dle typu pohybu, pohonu, nosnosti, jmenovité rychlosti, užití. Také je můžeme rozdělit dle umístění strojovny.

2.1.1 Rozdělení podle typu pohybu

- pohyb přerušovaný: výstup i nástup lidí je realizován při zastavené kabině, to samé platí pro vykládku a nakládku materiálu. Tento typ má jednu kabinu umístěnou ve výtahové šachtě a kabina jezdí přerušovaně směrem vzestupným či sestupným. Pro rychlejší odbavení lidí či nákladu se umísťují vedle sebe dva a více výtahů. Tento typ můžeme vidět na obrázku 1. Velkou výhodou tohoto principu je umožnění zabezpečení kabiny proti styku osob s výtahovou šachtou. Je zde také bezpečné nastupování (vystupování).

- pohyb nepřerušovaný: výstup nebo nástup lidí probíhá za chodu. Takovému řešení se říká oběžný výtah (jinak páternoster = otčenáš). Páternoster má vícero kabin řazených za sebou, které neustále obíhají po své dráze což můžeme vidět na obrázku 2. Princip je v podstatě stejný jako u korečkového elevátoru, tedy na nekonečném tažném prvku jsou umístěny kabiny pro cestující, které se neustále pohybují v šachtě. Velkým rozdílem (oproti korečkovému elevátoru) je to, že kabiny výtahu se nepřetáčejí vzhůru nohama. Výhody jsou zřejmé z jeho konstrukce tedy nízká čekací doba na kabinku, velký počet přepravených lidí. Další výhodou je to, že kabinky jsou po obou stranách, vtaž je tedy vyvážený. Což má za následek nižší

spotřebu energie. Největší nevýhodou je absence dveří kabin, tím pádem osoby přijdou do kontaktu s výtahovou šachtou. Z předem daného důvodu není možné tyto výtahy nově konstruovat. Dovoleno je pouze udržívat stávající. Další velkou nevýhodou je nastupování lidí do pohybujícího stroje což mnoha hlavně starším lidem činí problémy. Za nevýhodu lze také považovat názor lidí, že po dojetí kabinky zcela nahoru se kabina přetočí (fáma). Výtah má malé přepravní rychlosti, ale kompenzuje to malá čekací doba na kabinu.



*Obr. 2. a) princip oběžného výtahu, b) ukázka místa pro nástup a výstup (v Praze)
[10], [11]*

2.1.2 Rozdělení dle pohonů

- a) Pohon hydraulický (znázorněn na obr. 3.)
- k přenosu síly se využívá tlaku v kapalině
 - výhodou je tišší a plynulejší chod

- nevýhodou je pomalejší zdvih a menší přepravní vzdálenosti než u pohonu s elektromotorem.
- b) Pohon pneumatický
 - k pohonu se využívá tlak ve vzduchu, principiálně a schématický je podobný jako hydraulický pohon
- c) Pohon elektromotorem
 - k uskutečnění pohonu se využívá přeměna elektrické energie na kinetickou
 - výhodou jsou značné přepravní rychlosti a dopravní vzdálenosti
 - nevýhodou je hlučnost zařízení
- d) Pohon lidskou silou
 - pohyb je realizován za pomoci lidské síly, Dnes se s tímto pohonem nesetkáme. První výtah měl lidský pohon. K pohonu mohly být využívány také zvířata.



Obr. 3. výtah s hydraulickým pohonem [12]

Dělení výtahů s elektrickým pohonem

- I. třída:** doprava lidí
- II. třída:** pro dopravu osob s nákladem, ale i možnost přepravovat jen náklad. Odlišuje se vnitřní konstrukcí kabiny
- III. třída:** doprava lůžek (například v nemocnicích)
- IV. třída:** doprava materiálu s možností přepravy obsluhy nakládky a vykládky
- V. třída:** nejmenší nákladní výtahy které musí mít konstrukční řešení tak aby, znemožňovaly vystoupení osob do prostoru kabiny výtahu

2.1.3 Rozdělení dle užití

- a) Osobní výtah
 - přepravuje osoby a jejich náklad (zavazadla) v patrových budovách, nebo tam kde je zapotřebí bezbariérový přístup
- b) Nákladní výtah
 - slouží pro přepravu materiálu, nákladu. Mohou být různého provedení, s možností přepravy osob, bez přepravy osob.
 - oproti osobním výtahům mají většinou větší nosnost, ale mohou být také malé jako například výtahy na jídlo z kuchyně do jídelny nebo třeba nemocniční výtah.
- c) Stavební výtah
 - využívá se na stavbách pro přepravu dělníků a materiálů viz. obr. 4.
 - tento výtah je pouze dočasný po skončení stavebních prací se demontuje



Obr. 4. Stavební výtah [14]

d) Automobilový výtah

- tento výtah je hodně specializovaný, používá se výhradně pro přepravu automobilů v garážích
- neobvyklý je prosklený automobilový výtah v mrakodrapech pro umožnění pohledu na auto z bytu, jak nám ukazuje obrázek 5.



Obr. 5. prosklený automobilový výtah [13]

e) Lodní výtah

- může sloužit pro přepravu letadel mezi podpalubím a palubou na letadlových lodích což máme na obrázku 6. a).
- obvykle se lodním výtahem myslí zařízení pro vyzdvihování lodí v přístavech
- dráha nemusí být pouze svisle nahoru a dolů, ale i šikmo vzhůru viz. obr. 6. b)



a)

b)

Obr. 6. a) lodní výtah s šikmou drahou, b) výtah na letadlové lodi [28]

f) Těžní věž (důlní výtah na obrázku 7.)

- je určený pro přepravu nákladu (vytěžené suroviny) a horníků
- výtah přepravuje někdy až stovky tun horniny, proto elektromotory mohou mít výkon až několik desítek megawattů
- rychlost přepravy horniny bývá větší až o polovinu než při přepravě osob kvůli zvýšení bezpečnosti
- vzhledem k tomu, že dráha těžní věže je zpravidla značná musí být tažný prvek dosti těžký, proto se u těchto výtahů používá vyvažovací lano, které je upevněno na jedné straně ke kleci a na druhém konci k protizávaží a kompenzuje tíhu hlavního lana
- těžní věž pracuje v obzvláště těžkých podmínkách, proto jsou jen pro toto zařízení určené samostatné právní předpisy



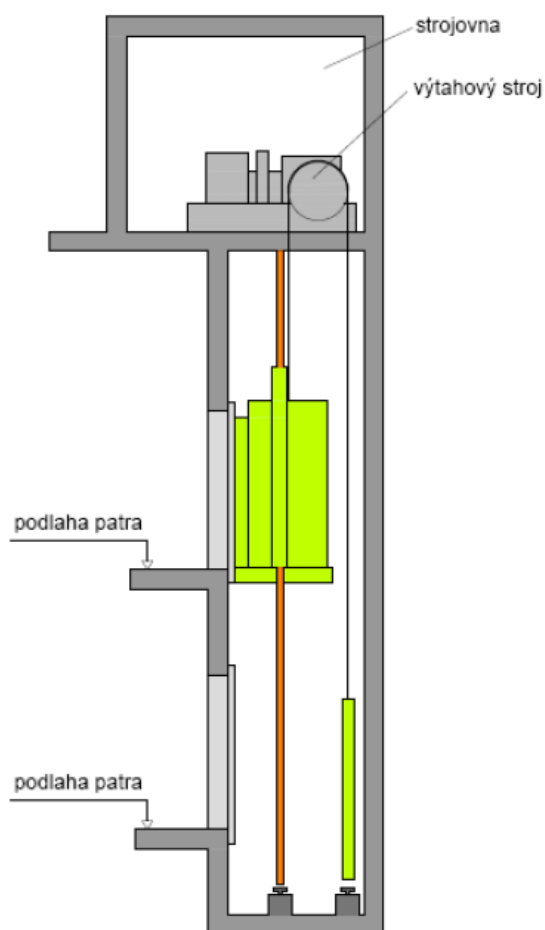
Obr. 7. důlní výtah [29]

2.1.4 Rozdělení dle konstrukce

Což znamená, rozdělení dle strojovny. Výtahy mají různě umístěnou strojovnu kvůli možnostem dané budovy, dokonce ani nemusí mít strojovnu.

a) Strojovna nahoře (obr. 8.)

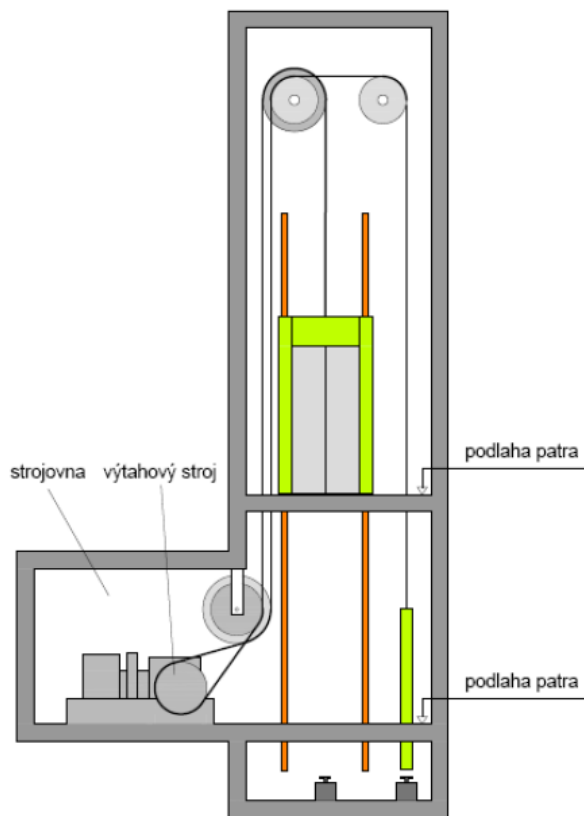
- velkou výhodou je jednoduché lanování bez nutnosti použít kladky čímž odstraníme další odpory
- nevýhodou je mít dostatečný zastavěný prostor nad vrchním patrem (u starších budov vznikaly malé buňky nahoře na střeše)
-



Obr. 8. strojovna umístěná v horní části [6]

b) Strojovna dole (br. 9.)

- výhodou je absence nutnosti přístřešku nad vrchním patrem
- nevýhodou je složitější lanování související s umístěním pohonu dole



Obr. 9. strojovna umístěná v dolní části [6]

c) Strojovna uprostřed

- podobný princip jako u polohy strojovny dole jen je umístěna uprostřed výtahové šachty

d) Strojovna ve výtahové šachtě (obr. 10.)

- pohon je umístěn přímo ve výtahové šachtě což znamená menší zastavěný prostor
- používá se pro výtahy s kratší dráhou, jelikož rozměr poháněcí stanice je značně omezen



Obr. 10. výtah se strojovnou v šachtě

- e) Strojovna je součástí klece
 - umožňuje malé rozměry šachty
 - nevýhodou je přídavná zátěž

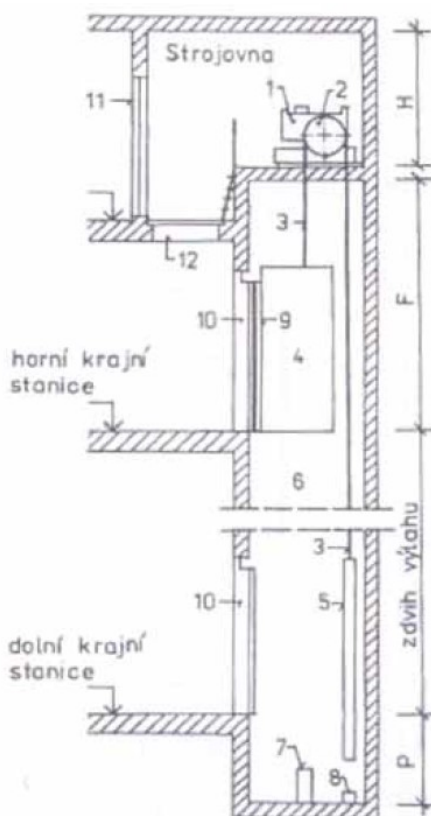
2.1.5 Rozdělení dle technického provedení pohonu

- a) trakční výtah
 - rám je spojen ocelovým lanem přes třecí kotouč s protizávažím což vyvoluje tření, čímž dochází k pojezdu kabiny
- b) bubnový výtah
 - na buben (dá se říct naviják) se navíjí, nebo odvíjí lano připojené k rámu výtahu
 - může být mezi rámem a bubnem umístěn kladkostroj
 - toto provedení nemá protizávaží.
- c) řetězový výtah
 - řetěz je spojen s rámem a je poháněn přes řetězové kolo
 - řetěz má výhodu oproti lanu, že unese větší tíhu

- nevýhoda je velká hlučnost a hmotnost jednoho metru řetězu je větší než u lan
- d) hydraulický výtah
- síla potřebná pro zvednutí zátěže je vyvolána pomocí tlaku v pracovní kapalině
 - výhodou je tichý chod, plynulejší pohyb kabiny a možnost mít strojovnu mimo výtahovou šachtu což nám výrazně sníží hlučnost
 - nevýhodou je malá dopravní výška (do čtyřech maximálně pěti patrech) především kvůli omezené vzpěrné pevnosti hydraulického válce
 - další nevýhodou je možná ztráta tlaku ve válci a tím pádem nežádoucí pokles kabiny a také příliš velká rychlost klesání

2.2 ZÁKLADNÍ POPIS VÝTAHU

Toto schéma (obr. 11.) obsahuje výtah s trakčním pohonem, se strojovnou nahoře a tažným prvkem jsou lana.



Obr. 11. Popis základních částí výtahu [3]

1. výtahový stroj, 2. hnací lanový kotouč, 3. nosná lana, 4. klec, 5. vyvažovací závaží, 6. výtahová šachta, 7. nárazníky klece, 8. nárazník vyvažovacího závaží, 9. klecové dveře, 10. šachetní dveře, 11. dveře do strojovny výtahu, 12. montážní otvor, F) horní část šachty nad horní krajní stanicí, H) výška strojovny, P) prohlubeň

2.3 KOMPONENTY VÝTAHU

Výtahová šachta

Je stavební prvek, který je součástí domu. Ve výtahové šachtě je umístěno vedení kabiny i protizávaží, dále je zde umístěno záchytné zařízení. Konstrukce této šachty se musí řídit předpisy a normami. Zvláště je kladen důraz na protipožární opatření. Šachta má po své výšce určitý počet vstupních otvorů, které jsou umístěny na jednotlivých patrech budovy. Tyto otvory musí být opatřeny dveřmi které chrání před zřícením se do šachty. Dveře jsou ovládané strojově a řízené elektronicky. Musí být naprogramované tak, aby se otevřely pouze v případě, že v dané úrovni se nachází kabina. Dveře jsou dále naprogramovány tak, že se napřed dveře uzavrou a poté se až kabina rozjede. Ve zvláštních případech je v šachtě ještě umístěn celý pohon tedy mluvíme o výtahu bez strojovny.

Možnosti konstrukce:

- ocelový rám: tato šachta je tvořena ocelovou kotrrou která je zakryta buď sklolaminátem nebo různými deskami (plechy, polykarbonátem atd. ...) používá se například u budov kde původně žádný výtah nebyl nebo u moderních výtahů kde chceme výtah prosklít např. kvůli vyhlídce do okolí.
- prefabrikované díly: používají se před-vyrobené dílce, které se skládají na místě stavby a urychlují výstavbu, tyto dílce je nutné náležitě zazdít do okolní stavby.
- zděná konstrukce: šachta se vyzdívá společně s budovou, je to nejvíce časově náročná metoda, a navíc musí být výtah plánován od samého počátku výstavby.

Strojovna

Je místnost kde se nachází stroj, který pohání výtah. Do strojovny vedou dveře, aby bylo možné se dostat k pohonu a zajistit tak možnou kontrolu a údržbu. Většinou je zde také průlez do výtahové šachty. Nezřídka jsou výtahy bez strojovny čímž se šetří místo, materiál a peníze. Strojovna může být nad šachtou, pod šachtou nebo vedle ní.

Výtahový stroj

Výtahovým strojem se rozumí kompletní pohon, jenž má prvky jako motor (elektromotor), převodovku (s výhodou se používají šnekové převody) a elektromagnetickou brzdu která má možnost přepnutí na ruční pohon v případě výpadku proudu. Pokud vypadne proud a kabina je mimo stanici musí se ručně výtah spustit na nejbližší zastávku. Dalším prvkem je hnací lanový kotouč, též zvaný třecí kotouč ten je uložen na hřídeli vedoucí z převodovky. Motor spolu s převodovkou a dalšími částmi je pevně uchycen k rámu výtahového stroje. Taky zde patří spojky (používá se pružná spojka). Ta se dává na hřídel mezi elektromotorem a převodovkou. Stroj má vícero variant například s třecím kotoučem, s bubnem, řetězovým kolem.



Obr. 12. Bezpřevodový výtahový stroj řady NL firmy EM Brno [15]

Konstrukční řešení výtahového stroje, uvedeného výše na obrázku 12, umožňuje zabudování přímo do horní nebo spodní části výtahové šachty. Řízení otáček pomocí frekvenčního měniče. Nejméně dvojnásobná účinnost vůči klasickým výtahovým strojům se šnekovou převodovkou. Plynulé řízení otáček motoru nebo rychlosti klece od nuly až do maximálních hodnot. Velké snížení hlučnosti. Každý stroj je vybaven dvojitou kotoučovou elektromagnetickou brzdou, snímačem polohy nutným pro napájení z frekvenčního měniče a svorkovnicí na horní straně motoru.



Obr. 13. Výtahový stroj BOV 320 se dvěma bubny [30]

Konstrukční řešení na obrázku 13. je navrženo pro pohon výtahů bez vyvažovacího závaží zejména pro modernizaci osobních výtahů. Jeho použití umožní zvětšit hloubku kabiny – zvýšit nosnost výtahu až o 70 kg. Sestavu stroje tvoří litinová skříň se šnekovým převodem, navíjecí buben pro 2 lana, spojka s brzdovým kotoučem a dvojčinná brzda čelist'ová – rozpěrací. Pro pohon je použit elektromotor typ ATM 132-6, s cizí ventilací.

Elektromotory výtahových strojů:

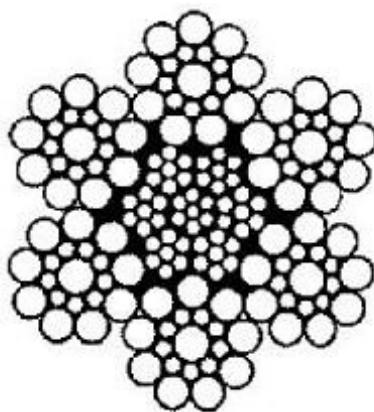
Asynchronní elektromotor: je buďto s kotvou na krátko pro malé výkony nebo s kotvou kroužkovou pro velké výkony. Motor s kotvou na krátko je jednoduchý, lehký, spolehlivý a levný, ale má při rozběhu velký odběr proudu a má malý záběrný moment. Tyto motory nejsou příliš využívány, jelikož synchronní motory mají lepší účinnost.

Synchronní elektromotor: jsou s vnějším rotorem nebo klasičtější s vnitřním rotorem. Mají výhodu oproti asynchronním dobře snáší dynamické vlivy, můžeme je přetížít, jednoduchá regulace otáček, vysoká účinnost, jsou menší a lehčí.

Nosný prvek

Tím je myšlen prvek, který spojuje výtahový stroj s kabinou. Má za účel přenos tažných sil. Vzhledem k tomu, že kabina visí na tomto prvku je kladen velký důraz na hodnotu bezpečnosti, takže je prvek minimálně zdvojnásoben. To proto že když se přetrhne jeden je tady alespoň druhý, který tady zůstává.

- **Ocelové lano** Je využíváno standartních, WARRINGTON nebo SEAL (obr. 14.). Jsou nejběžněji používané u výtahů s pohonem pomocí elektromotoru. Konstrukce lana musí splňovat požadavky na ořetuvzdornost a požadovanou pevnost drátu. Lana se pravidelně kontrolují, varovným signálem pro výměnu lana kromě napadení korozí je počet (udán normou) přetržených lan. Vždy se používají dva a více lan stejného průměru a provedení (konstrukce např. SEAL). Nejmenší možný průměr lana je deset milimetrů. Lana se kontrolují na statický tah, přitom je volena statická bezpečnost od 9 do 14 v závislosti na konstrukci pohonu (trakční, bubnový) a rychlostech výtahu.



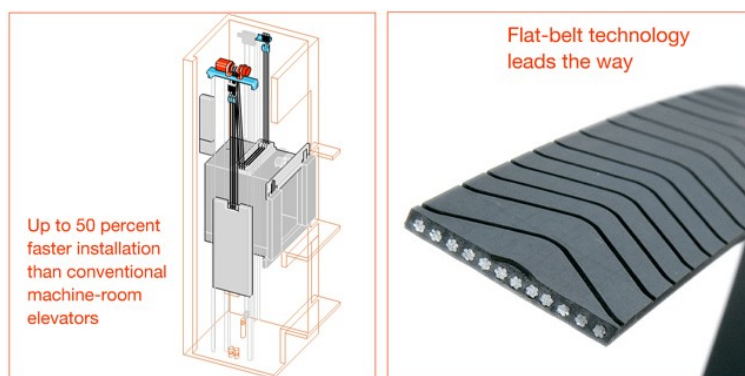
Obr. 14. průřez ocelového lana SEAL

- **Řetěz:** využíváno je konstrukce pouzdrových, válečkových, kloubových (obr. 15.) atd. ... Řetězy mají tu výhodu, že mají vysokou životnost. Jsou ale těžší a výrazně hlučnější než lana. Používáme je hlavně u nákladních výtahů kvůli větší nosnosti a vyšší hlučnosti. Řetězy se sice také využívají u osobních výtahů, ale nejsou tak časté. Řetězy se stejně jako lana kontrolují na tah s bezpečností o velikosti 8.



Obr. 15. Kloubový řetěz [16]

- **Plochý řemen** vyvinula ho firma Otis belts. Jde o ocelovou kostru tvořenou ocelovými lany malých průřezů vloženou do polyuretanového obalu. Výhodou je vysoká pevnost v tahu při velmi nízké hmotnosti a výrazná tichost chodu. Na obrázku 16. vidíme průřez řemenem a způsob lanování.



Obr. 16. Plochý řemen firmy Otis [17]

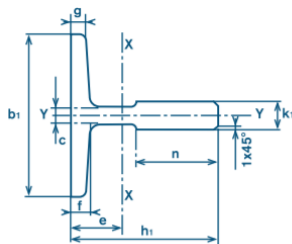
Vodítka

Pro zamezení rozkývání klece výtahu nebo protizávaží se používají tzv. vodítka která vymezují pohyb jak kabiny, tak závaží. Kabina nikdy tyto vodítka neopustí. Průřez vodítek

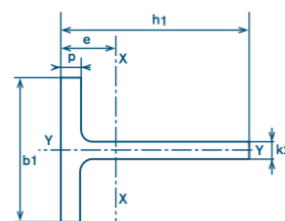
je v upraveném tvaru T jenž vidíme na obrázku 17. b). Materiál vodítek má min. pevnost 370 MPa. Dokonalé usazení vodítek naproti sobě (obr. 17. a)) má vliv na chování klece a závaží, pokud bychom vodítka nainstalovali s nepřesnostmi nebo by jejich povrch byl příliš hrubý docházelo by ke zvětšení vibrací což je nežádoucí.



a)



b)



Obr. 17. a) vodítka v reálu, b) možná provedení

Zachycovač:

Bezpečnostní prvek, který slouží pro zastavení klece při přetržení všech nosných prvků. Jeho konstrukce je výhradně mechanická bez přítomnosti elektrického zařízení, to proto, aby byl schopen pracovat i při výpadku proudu. Zachycovač má i protizávaží. Je umístěn na spodní nebo horní části rámu klece výtahu a brzdí kabinu (protizávaží) o vodítka. Zachytávače se instalují ve dvojici. Ukázkou, jak vypadá zachycovač vidíme na obrázku 18.

Samosvorné zachytávače jsou v provedení válečkové, výstředníkové a klínové. Dokážou zastavit pád na krátké dráze.

Klouzavé zachycovače zastavují pohyb pouze pomocí tření. Delší dráha brždění (pomalejší zpomalení) výhodné u výtahů s velkou rychlostí.

Dále máme zachycovače jednosměrné a obou směrné.



Obr. 18. Progresivní zachycovač obousměrný firmy Dynatech [18]

Kabina

Je klec, která je vnitřně opláštěna. U kabiny požadujeme nejen funkčnost, ale i estetiku, aby přeprava osob byla pohodlná. Jedna z možných variant vybavení kabiny je uvedena na obrázku 19. V kabině je především ovládací panel, na kterém se volí chtěné patro, dále je nezbytné dobré osvětlení a případně sedátko nebo zábradlí. Kabina má většinou mezi rámem pryžové vložky pro snížení vibrací za chodu. Materiál opláštění je v dnešní době rozmanitý, nejčastější je plechové (ocelové) ale může být také ze dřeva nebo bezpečnostního tvrzeného skla. Podlaha se většinou upravuje protiskluzově pro větší bezpečí. Samozřejmostí je dostatečné odvětrávání kabiny.



Obr. 19. Ukázka kabiny výtahu [19]

Protizávaží:

Slouží hlavně pro vyvození dostatečné trakce. Také zlepšuje energetickou bilanci výtahu. Hmotnost závaží je rovna hmotnosti kabiny plus polovina nosnosti výtahu, pokud chceme mít takovouto konstrukci musíme opatřit klec omezovačem rychlosti proti pohybu vzhůru. Jinak má protizávaží hmotnost prázdné kabiny. Vyrábí se v provedení ocelovém nebo betonovém (viz. obrázek 20.). Závaží má své vlastní vedení.



Obr. 20. Betonové protizávaží [20]

Dorazy

Mají provedení buď pružinové nebo pryžové (obr. 21.). Jejich hlavní funkcí je odpružené zastavení kabiny v dolní poloze. Zabraňují zranění osob ve výtahu, pokud se kabina utrhne a zachycovače se nespustí. Jsou instalovány ve spodní části výtahové šachty. Pro větší hmotnosti klece výtahu se používají hydraulické dorazy.



Obr. 21. pryžové nárazníky na dně šachty

3 KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ VÝTAHOVÉHO RÁMU

Mým úkolem je vytvořit konstrukci výtahového rámu pro nosnost 450 kg a pro rozměr mezi vodítky 900 mm s přihlédnutím k výrobním možnostem firmy. Dále vytvořit vzpěry podlahy délky 350 mm. A hlavně celou konstrukci podrobit MKP analýze.

Konstrukci rámu výtahu jsem prováděl s ohledem na zadané parametry, jenž jsem obdržel od firmy Liftservis. Dbal jsem při konstrukci na snadnou a levnou výrobu. Proto jsou voleny profily tvořené z vypalovaného plechu. Většina polotovarů je plech tloušťky 4 mm z konstrukční oceli ČSN 11 373 (S235JRG1). Tento materiál jsem zvolil pro všechny navrhované prvky. Tuto ocel jsem vybral díky snadné obrobitelnosti a zaručené svařitelnosti. Spojení mezi díly jsou realizována většinou pomocí šroubových spojů. Tento druh spoje jsem volil z důvodu snadné rozebíratelnosti. Snadná montáž a demontáž je důležitá, jelikož se rám musí přepravit na místo a tam následně sestavit ve výtahové šachtě. Pro prvotní volení komponent odhaduji hmotnost rámu na 172 kg. Rozměrové parametry znázorňuji na obrázku 22.

Dané parametry konstrukce:

- Šířka x hloubka x výška kabiny výtahu: 800 x 1300 x 2030 mm
- Rozměry mezi tenzometry: 632 x 760 mm
- Rozměr mezi vodítky: 900 mm
- Nosnost výtahu: $Q = 450$ kg
- Hmotnost kabiny: 260 kg
- Hmotnost operátoru: 70 kg
- Umístění zachycovačů na rámu: nahoře
- Jmenovité zrychlení: $a = 1$ m/s²
- Lanový převod: 2:1
- Počet nosných lan: $n = 5$
- Součinitel tření kladka – lano: $\mu = 0,09$
- Délka lan nad klecí: 2 x 15,7 m
- Délka lan nad protizávaží: 13,7 m a 13,1 m

**Informace na této stránce jsou v režimu utajení a jsou dostupné oproti podpisu
mlčenlivosti u vedoucího práce doc. Ing. Jiřího Frieše, Ph.D.**

**Informace na této stránce jsou v režimu utajení a jsou dostupné oproti podpisu
mlčenlivosti u vedoucího práce doc. Ing. Jiřího Friese, Ph.D.**

**Informace na této stránce jsou v režimu utajení a jsou dostupné oproti podpisu
mlčenlivosti u vedoucího práce doc. Ing. Jiřího Friese, Ph.D.**

**Informace na této stránce jsou v režimu utajení a jsou dostupné oproti podpisu
mlčenlivosti u vedoucího práce doc. Ing. Jiřího Friese, Ph.D.**

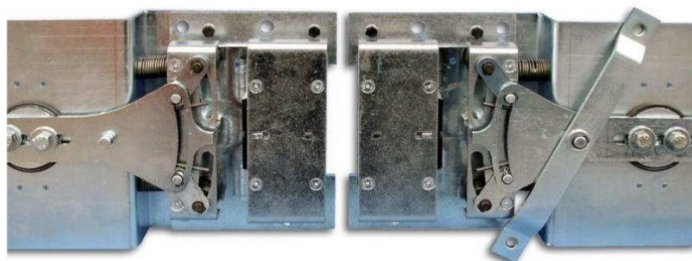
**Informace na této stránce jsou v režimu utajení a jsou dostupné oproti podpisu
mlčenlivosti u vedoucího práce doc. Ing. Jiřího Friese, Ph.D.**

**Informace na této stránce jsou v režimu utajení a jsou dostupné oproti podpisu
mlčenlivosti u vedoucího práce doc. Ing. Jiřího Friese, Ph.D.**

Dalším bezpečnostním prvkem nutným k provozu výtahu je zachycovač. Ten slouží k bezpečnému zastavení kabiny při přerušení tažných prvků. Zachycovač jsem vybíral dle hmotnosti klece výtahu, jmenovité rychlosti klece, rozměrech vodiček a jejich mazání. Dle výše uvedených parametrů jsem zvolil zachycovače: DYNATECH ASG 100 UD (obr. 30.) jenž jsou obousměrné zachycovače. Parametry tohoto zachycovače uvádím v tabulce č. 1. Uložení zachycovače v přípevňovacím profilu vybavovacího zařízení T 25 UD je kluzné. Při vybavení se zachycovač posune čelistmi k vodičku, po odblokování se vrátí do klidové polohy.

Tab. 1. Parametry zachycovačů [24]

Typ zachycovače Parametr	ASG 100 UD	ASG 120 UD	ASG 121 UD
Max.jmenovitá rychlost	1,75 m/s	1,75 m/s	1,75 m/s
Max.vybavovací rychlost	2,33m/s	2,33 m/s	2,33 m/s
Šířka bříty vodička(mm)	7- 16 mm	7- 16 mm	7- 16 mm
Max.zatížení P+Q (kg)	515-2139 kg	693-4233 kg	598-4019 kg
Typ vodiček	Tažená a namazaná	Broušená a namazaná	Broušená a suchá
Vybavovací zařízení	T 25 UD	T 25 UD	T 25 UD



Obr. 30. Zachycovač Dynatech [24]

K rámu výtahu jsou lana uchycena pomocí převáděcích kladek (obr. 31.). Kladky jsou opatřeny ložisky a uloženy na pevných osách. Osy jsou pevnostně zkontrolovány níže ve výpočtech. Lanové kladky volím od firmy Frontier components, jelikož mají i zakázkovou výrobu. Konkrétně jsem vybral polyamidovou kladku se dvěma ložisky ZKL62102RS (90/50).

Parametry kladky: Ø240 mm, 5 x 6 mm, rozteč 12 mm, šířka 68 mm.



Obr. 31. Lanové kladky [26]

Senzor vážení kabiny (obr. 32.) je nutný prvek výtahu. Zaručuje, že výtah nebude přetížený. Pokud přetížíme nákladem kabinu tento senzor zabrání rozjetí výtahu. Je to tenzometr který zjišťuje velikost zatížení pomocí tlaku nebo tahu. Umisťuje se pod klec (tlakový) nebo je připojen na lano vedoucí k rámu. V mém případě mám tlakový snímač uložený pod podlahou kabiny. Tenza jsou uchycena pomocí šroubů ke vzpěrám podlahy na výtahový rám.



Obr. 32. Senzory vážení UC-P [27]

Celkovou konstrukci rámu výtahu s odkláněcími kladkami, tenzometry pod podlahou, dvěma krajními deskami nárazníků a s délkou vzpěr podlahy 350 mm můžeme vidět na obrázcích pod odstavcem (obr. 33). Rám byl navrhován s minimální hmotností a zároveň s co největší bezpečností, jelikož bude používán pro přepravu osob. Velkou úsporou hmotnosti jsou odlehčující otvory v bočnicích a tvarově složitě ale lehké podlahové vzpěry. Jako spojovací prvek jsou téměř všude použity šrouby kvůli snadné montáži a demontáži i pro snadnou výměnu dílů. Také jsou v konstrukci použity svary. Ty jsou hlavně tam kde by nebylo možné použití šroubů.

**Informace na této stránce jsou v režimu utajení a jsou dostupné oproti podpisu
mlčenlivosti u vedoucího práce doc. Ing. Jiřího Friese, Ph.D.**

4 KONTROLNÍ VÝPOČTY NOSNÉHO RÁMU

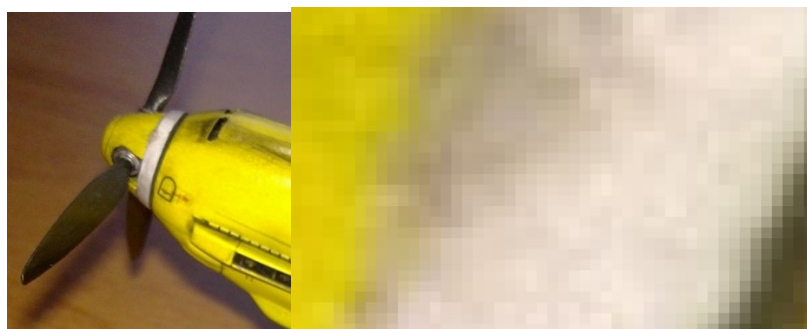
Konstrukce rámu kabiny výtahu je z větší části tvořena nenormalizovanými profily, které jsou vyrobeny z plechu (převažuje tloušťka plechu 4 mm). Z tohoto polotovaru za pomoci vypalování a ohýbání jsme docílili požadovaného tvaru daných prvků. Profily jsou navzájem spojeny svary, a dále především šroubovými spoji. Mým úkolem je zkontrolovat celou konstrukci tak, aby vyhovovala jak po stránce pevnostní, tak i deformační. Déle se musím ujistit, že mnou navržené řešení rámu bude vyhovovat po stránce trakční. Proto zde uvádím kontrolu trakce výtahu. Vzhledem k tomu že jsem si vybíral také způsob lanování uvádím níže kontrolu vybraného typu lana. Pevnostní a deformační analýzu jsem se rozhodl udělat pomocí metody konečných prvků (MKP neboli FEM). Výpočet rámu klasickou početní metodou by byl příliš zdoluhavý a složitý. Už jen výpočet horních příčníků, díky jejich perforaci, by byl časově extrémně náročný. Proto jsem tyto výpočty nahradil počítačovou simulací.

Metodu MKP provádím s modelem vytvořeným v programu Autodesk Inventor 2017 a samotnou analýzu pomocí výpočetního programu ANSYS Workbench 16. Zvolení čistě výpočetního programu pro stanovení kritických míst konstrukce jsem provedl proto abych zaručil správnost, přesnost a korektnost výpočtu. Což by mi zjednodušený výpočtový modul v programu Inventor neumožnil. Také nemá tolik rozšiřujících funkcí, které potřebuji pro lepší vyhodnocení výsledků.

4.1 MKP Analýza

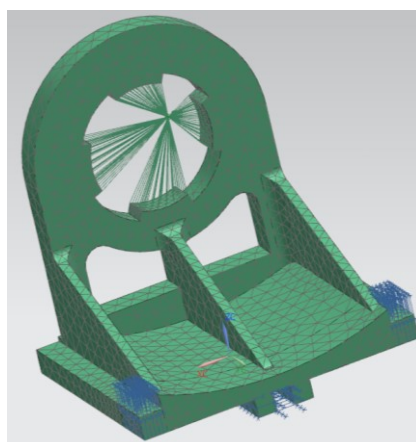
Metoda konečných prvků (anglicky: finite element method FEM) je početní metoda pro řešení inženýrských a matematicko-fyzikálních problémů. Používá se především pro simulaci průběhu napětí, deformace, vibrací (zjišťujeme vlastní frekvence výrobku), tepelného toku, proudění kapalin a také proudění vzduchu například okolo karoserie automobilu nebo letounu. Všechny výše uvedené typy simulací se provádějí na předem vytvořeném 3D fyzikálním modelu. Model má přiřazené chemicko-fyzikální vlastnosti takové jaké má konstrukce v reálu (nebo se snažíme o co nejvíce možnou shodu s ohledem na výpočetní možnosti).

Metoda konečných prvků je založena na Lagrangeově principu: Těleso je v rovnováze, jestliže celková potenciální energie deformace soustavy je minimální. Principem MKP analýzy je diskretizace spojitého kontinua (převod problematiky na soustavu lineárních rovnic) do konečného počtu prvků tedy náhrada spojitého prostředí soustavou bodů. Zjišťované parametry jsou určeny v jednotlivých uzlových bodech. Nejlépe lze tuto problematiku vysvětlit na principu digitální fotografie, kde reálný spojitý obraz je nahrazen jednotlivými body digitální fotografie nazývanými pixely.



Obr. 34. Ukázka principu diskretizace

Na obrázku 34. máme digitální fotografii vlevo a její několikanásobné zvětšení vpravo kde lze vidět, že fotografie se skládá z mnoha elementů, které skládají obraz. Podobného principu využíváme u diskretizace fyzikálního modelu pro simulaci což můžeme vidět na obrázku 35.



Obr. 35. Ukázka vytvoření sítě fyzikálního modelu

Podobně jako u fotografie určuje kvalitu počet elementů. Čím větší je jejich počet a čím menší jsou elementy tím přesněji je model okopírován. Avšak příliš velký počet částí přespříliš prodlužuje čas potřebný k simulaci, zvyšuje nároky kladené na výpočetní výkon procesorů a zároveň nezřídka kdy způsobuje zkreslení výsledků. Proto se musíme snažit dosáhnout optimálního počtu těchto prvků.

Metoda FEM (MKP) se využívá pro kontrolu a optimalizaci již hotových konstrukcí. A také k určení kritického místa celého návrhu nebo k určení vlastní frekvence zařízení (kritické vibrace) atd. Je výhodné ji použít tam kde by klasické výpočty byly příliš složité a časově náročné. Tedy především na ocelové rámy všech konstrukcí.

4.2 Analýza rámu kabiny výtahu

MKP analýza se dělí do třech kroků které musíme vykonat pro dosažení optimálních výsledků a jejich správné vyhodnocení. Důležité je nezanedbat žádný z kroků, jelikož na sebe navazují a při chybě nebo nepochopení je výsledek špatný. Do samotného processingu sice nezasahujeme, ale můžeme ovlivnit čas na něj potřebný a tím zefektivnit výpočet.

Postup je následovný:

1. **Preprocessing:** soubor všech úkonů které musíme vykonat před spuštěním samotné simulace. Například zjednodušení modelu, přiřazení materiálu, vysíťování, určení okrajových podmínek, definování zatížení. Tedy celkové sestavení výpočtového modelu.
2. **Processing:** samotný výpočet systému lin. rovnic. Jediný krok, do kterého nezasahujeme, provádí jej processor počítače a je nejvíce zatěžujícím krokem na výpočetní technologii.
3. **Postprocessing:** Vyhodnocení výsledků je jedním z nejdůležitějších kroků. Kvůli tomu, že musíme říci, jestli jsou výsledky relevantní.

Pro provedení simulací jsem po zralé úvaze zvolil program ANSYS Workbench 16.0. Tento program jsem zvolil z důvodu přesnosti výpočtů oproti vestavnému modulu Inventoru. A také jeho snazší obsluhy. Díky použití novější verze tohoto programu lze snáze upravovat a vytvářet dané simulace.

Preprocessing

Jelikož budu provádět simulaci pro různé druhy zatížení, ale většina počátečních podmínek zůstane stejná uvedu nejprve tyto podmínky a ty platí pro všechny simulace níže. Model pro výpočet zůstává při všech simulacích rámu stejný. Jediné, co se mění je rozložení zatížení na vzpěry podlahy. A při simulaci zatížení vzniklém při působení zachycovačů se změní pevná vazba celé konstrukce.

4.2.1 Materiál konstrukce

Materiál pro celou konstrukci jsem zvolil ocel ČSN 11 373, EN 10027-1 S235JRG1. Je to nelegovaná ocel obvyklých jakostí pro konstrukce. Neušlechtilá konstrukční ocel obvyklé jakosti vhodná ke svařování. Součásti konstrukcí a strojů tavně svařované, namáhané staticky i dynamicky. Používá se na kované, lisované, zastudena ohýbané součásti. Jako plechy na strojní konstrukce, páky, šrouby, zděře, nýty. Používá se také jako profilový materiál. Vlastnosti materiálu uvádím pro přehlednost v tabulce 2.

Tab. 2. Mechanické vlastnosti materiálu

Mechanické vlastnosti	Provedení	
	tepelně nezpracované	normalizačně žíhané
Pevnost v tahu R_m [MPa]	min. 370	min. 350
Mez kluzu R_e [MPa]	min. 250	min. 220
Tažnost A_{10} [%]	min. 7	min. 20

Tvorba modelu

Model rámu jsem vytvořil v programu Autodesk Inventor Professional 2017. Podrobnosti ohledně řešení konstrukce se dozvíte v předchozí kapitole.

Model z obrázku 33. je vytvořen se všemi detaily jako jsou různé úkosity hran, malé díry, montážní prvky apod. Obsahuje také veškeré šroubové, svarové spoje a také přídavné prvky jako jsou tenza a jištění lan. Slouží jako základ pro výpočtový model ten se bude lišit od tohoto modelu zjednodušením, nahrazením nebo zcela odebráním určitých prvků.

**Informace na této stránce jsou v režimu utajení a jsou dostupné oproti podpisu
mlčenlivosti u vedoucího práce doc. Ing. Jiřího Friese, Ph.D.**

**Informace na této stránce jsou v režimu utajení a jsou dostupné oproti podpisu
mlčenlivosti u vedoucího práce doc. Ing. Jiřího Friese, Ph.D.**

**Informace na této stránce jsou v režimu utajení a jsou dostupné oproti podpisu
mlčenlivosti u vedoucího práce doc. Ing. Jiřího Friese, Ph.D.**

**Informace na této stránce jsou v režimu utajení a jsou dostupné oproti podpisu
mlčenlivosti u vedoucího práce doc. Ing. Jiřího Friese, Ph.D.**

**Informace na této stránce jsou v režimu utajení a jsou dostupné oproti podpisu
mlčenlivosti u vedoucího práce doc. Ing. Jiřího Friese, Ph.D.**

**Informace na této stránce jsou v režimu utajení a jsou dostupné oproti podpisu
mlčenlivosti u vedoucího práce doc. Ing. Jiřího Friese, Ph.D.**

**Informace na této stránce jsou v režimu utajení a jsou dostupné oproti podpisu
mlčenlivosti u vedoucího práce doc. Ing. Jiřího Frieše, Ph.D.**

**Informace na této stránce jsou v režimu utajení a jsou dostupné oproti podpisu
mlčenlivosti u vedoucího práce doc. Ing. Jiřího Frieše, Ph.D.**

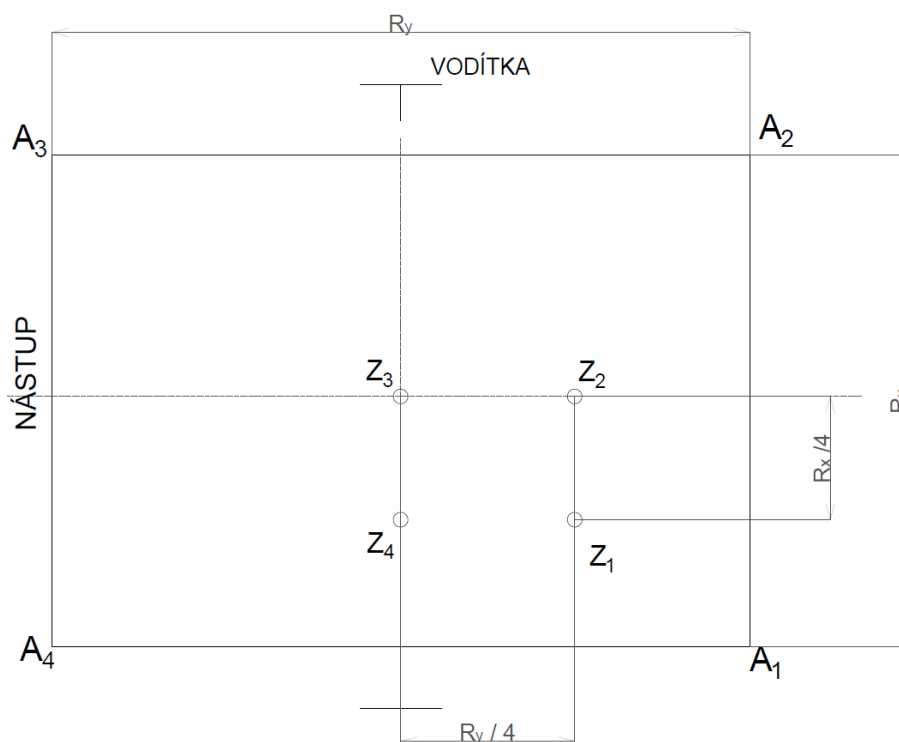
**Informace na této stránce jsou v režimu utajení a jsou dostupné oproti podpisu
mlčenlivosti u vedoucího práce doc. Ing. Jiřího Friese, Ph.D.**

**Informace na této stránce jsou v režimu utajení a jsou dostupné oproti podpisu
mlčenlivosti u vedoucího práce doc. Ing. Jiřího Friese, Ph.D.**

**Informace na této stránce jsou v režimu utajení a jsou dostupné oproti podpisu
mlčenlivosti u vedoucího práce doc. Ing. Jiřího Friese, Ph.D.**

4.2.5 Vytvoření zatížení

Pro kontrolu výtahového rámu požadujeme, aby se zkoušelo i nerovnoměrné zatížení. V reálu může dojít k situaci kdy rozložení lidí nebude přesně rovnoměrné, ale bude zatěžovat více tu či onu stranu. Tím myslím, pokud se skupina lidí postaví pouze do zadní části výtahu tak zatěžuje více pouze dvě vzpěry podlahy. Také může nastat situace kdy se lidé nebo náklad natlačí nejvíce k jedné vzpěře (asi nejhorší situace). Výtah je sice primárně určen pro přepravu osob, ale jen těžko se dá zabránit přepravě věcí které mohou být různě rozděleny do prostoru podlahy výtahu. Z těchto důvodů budu zatěžovat konstrukci čtyřmi níže popsanými stavy.



Obr. 53. Rozložení zatížení

Různé polohy zatížení jsem rozmístil dle schématu na obrázku č. 53. Poloha Z_1 znázorňuje největší zatížení na straně jedné podlahové vzpěry. Z_2 zatížení simuluje nahromadění zátěže do zadní části kabiny (nejvíce zatížený jeden konec). Z_4 simuluje zatížení na bok kabiny.

Hodnoty zatížení v jednotlivých vzpěrách jsem uvedl v tabulce číslo 3. Zatížení do jednotlivých podpěr (body A1 až A4) pro různé zatěžovací cykly jsem poměrově rozděloval.

Tab. 3. Rozvržení zatížení na jednotlivé vzpěry podlahy

Vzpěra podlahy	Typ zatížení			
	Z ₁	Z ₂	Z ₃	Z ₄
A1	4/9	1/3	1	1/3
A2	2/9	1/3	1	1/6
A3	1/9	1/6	1	1/6
A4	2/9	1/6	1	1/3

Výpočet síly působící na rám od zátěže kabiny s nákladem.

$$F_C = Q_C \cdot g \quad (4.1)$$

$$F_C = 893 \cdot 9,81$$

$$F_C = 8\,751,4\text{ N}$$

$$Q_C = Q_{125\%} + m_k + m_o \quad (4.2)$$

$$Q_C = 563 + 260 + 70$$

$$Q_C = 893\text{ kg}$$

Tuto sílu podělíme čtyřmi a dostaneme zatížení na jednu vzpěru v případě rovnoměrného rozložení zatížení.

Síla působící na jednu vzpěru podlahy při působení rovnoměrného zatížení:

$$F_R = \frac{F_C}{4} \quad (4.3)$$

$$F_R = \frac{8\,751,4}{4}$$

$$F_R = 2\,187,85 \cong 2\,190\text{ N}$$

Pokud počítáme jiné, než rovnoměrné zatížení Pak sílu F_Q násobíme koeficientem dle tabulky tři a přičteme čtvrtinu síly F_S .

$$F_Q = Q_{125\%} \cdot g \quad (4.4)$$

$$F_Q = 563 \cdot 9,81$$

$$F_Q = 5\,523 \text{ N}$$

$$F_S = (m_k + m_o) \cdot g \quad (4.5)$$

$$F_S = (260 + 70) \cdot 9,81$$

$$F_S = 3\,237 \text{ N}$$

Příklad výpočtu sil na jednotlivé vzpěry podlahy při nerovnoměrném zatížení:

Síla působící na vzpěru označenou obrázkem 40. jako A_1 se vypočte pomocí následujícího vzorce:

$$F_{A_1} = F_Q \cdot \frac{4}{9} + F_S \cdot \frac{1}{4} \quad (4.6)$$

$$F_{A_1} = 5\,523 \cdot \frac{4}{9} + 3\,237 \cdot \frac{1}{4}$$

$$F_{A_1} = 3\,264 \text{ N}$$

Při působení zachycovačů nám norma udává, že máme počítat s přetížením 0,5 - 1g. Já volím nejnepríznivější situaci a to hodnotu 1g. Což znamená že každá síla působící na konstrukci má dvojnásobnou hodnotu. Proč tomu tak je uvádím jednoduchým vyjádřením níže.

$$\sum F = \sum m \cdot a \quad (4.7)$$

$$F = m \cdot a + m \cdot g$$

$$a = g$$

$$F = m \cdot g + m \cdot g$$

$$F = 2 \cdot m \cdot g$$

Hodnoty zatížení pokud působí zrychlení na rám výtahu počítám podle níže uvedeného vztahu. Uvádím zde princip výpočtu. Zbylé hodnoty jsou uvedeny v tabulce 2. pod názvem: Působení zrychlení (zpomalení) stroje. Toto platí pro všechny výše uvedené vztahy.

$$\sum F = \sum m \cdot a \quad (4.8)$$

$$F = m \cdot a + m \cdot g$$

$$a = 1 \text{ m/s}^2$$

Síla od zatížení maximální nosností zvětšené o 25% při působení zrychlení

$$F_a = Q_{125\%} \cdot g + Q_{125\%} \cdot a \quad (4.9)$$

$$F_a = 563 \cdot 9,81 + 563 \cdot 1$$

$$F_a = 6\,086 \text{ N}$$

Síla vyvozená od hmotnosti kabiny a jejího příslušenství při působení zrychlení

$$F_{Sa} = (m_k + m_o) \cdot g + (m_k + m_o) \cdot a \quad (4.10)$$

$$F_{Sa} = (260 + 70) \cdot 9,81 + (260 + 70) \cdot 1$$

$$F_{Sa} = 3\,568 \text{ N}$$

Výpočet síly v místě A_1 při působení zrychlení a rovnoměrné zatížení na všechny podpěry (tedy zatížení Z_3):

$$F_{A_1 a(Z_3)} = \frac{(F_a + F_{Sa})}{4} \quad (4.11)$$

$$F_{A_1 a(Z_3)} = \frac{(6\,086 + 3\,568)}{4}$$

$$F_{A_1 a(Z_3)} = 2\,414\text{ N}$$

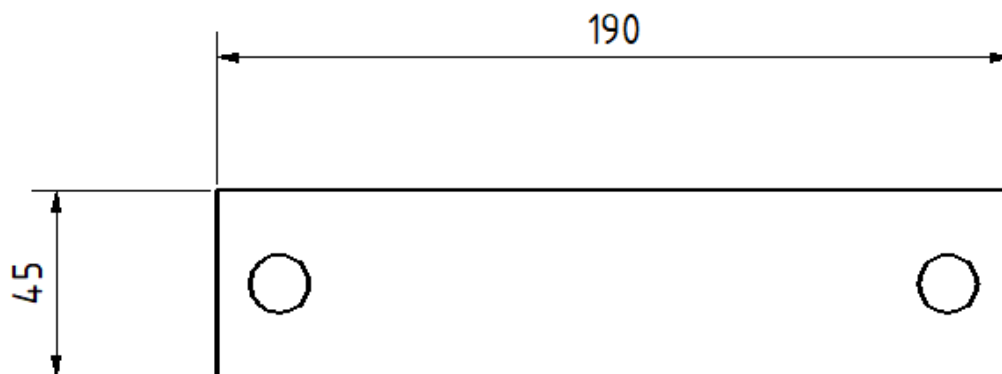
Výpočet síly v místě A_1 při působení zrychlení a převaze zatížení u jedné vzpěry (tedy zatížení Z_1).

$$F_{A_1 a(Z_1)} = F_a \cdot \frac{4}{9} + F_{Sa} \cdot \frac{1}{4} \quad (4.12)$$

$$F_{A_1 a(Z_1)} = 6\,086 \cdot \frac{4}{9} + 3\,568 \cdot \frac{1}{4}$$

$$F_{A_1 a(Z_1)} = 3\,597\text{ N}$$

V předešlé kapitole uvádím, že sílu umístuji na plochu, která leží pod tenzometrem. Proto převádím sílu na tlak, který vyvolá tenzometr na konstrukci rámu. Tedy každou sílu vydělím plochou, kterou má dosedací část tenza viz. obrázek 54.



Obr. 54. Tenzometr se zakótovanou plochou dosedu

Dosedací plocha tenzometru

$$S = A \cdot B = 45 \cdot 190 \quad (4.13)$$

$$S = 45 \cdot 190$$

$$S = 8550 \text{ mm}^2$$

Přepočet síly na tlak

$$p_{A1a(Z_3)} = \frac{F_{A1a(Z_3)}}{S} \quad (4.14)$$

$$p_{A1a(Z_3)} = \frac{2\,414}{8550}$$

$$p_{A1a(Z_3)} = 0,282 \text{ MPa}$$

Hodnoty tlaku pro jednotlivé druhy zatížení a pro každou podlahovou vzpěru jsem zapsal do přehledné tabulky číslo 4. Všechny hodnoty uvádím v MPa z důvodu, že mám nastaveno jako základní jednotku tlaku v programu právě Mega-Pascally.

Tab. 4. Zatížení na podlahové vzpěry (označení koresponduje s obrázkem 40.)

Vzpěra podlahy	Typ zatížení			
	Z ₁	Z ₂	Z ₃	Z ₄
	[MPa]			
Kabina je v klidu nebo rovnoměrném pohybu				
A1	0,382	0,310	0,256	0,310
A2	0,238	0,310	0,256	0,202
A3	0,166	0,202	0,256	0,202
A4	0,238	0,202	0,256	0,310
Působení zrychlení (zpomalení) stroje				
A1	0,421	0,342	0,282	0,342
A2	0,262	0,342	0,282	0,223
A3	0,183	0,223	0,282	0,223
A4	0,262	0,223	0,282	0,342
Působení zachycovačů				
A1	0,763	0,620	0,512	0,620
A2	0,476	0,620	0,512	0,405
A3	0,333	0,405	0,512	0,405
A4	0,476	0,405	0,512	0,620

**Informace na této stránce jsou v režimu utajení a jsou dostupné oproti podpisu
mlčenlivosti u vedoucího práce doc. Ing. Jiřího Friese, Ph.D.**

**Informace na této stránce jsou v režimu utajení a jsou dostupné oproti podpisu
mlčenlivosti u vedoucího práce doc. Ing. Jiřího Frieše, Ph.D.**

**Informace na této stránce jsou v režimu utajení a jsou dostupné oproti podpisu
mlčenlivosti u vedoucího práce doc. Ing. Jiřího Friese, Ph.D.**

**Informace na této stránce jsou v režimu utajení a jsou dostupné oproti podpisu
mlčenlivosti u vedoucího práce doc. Ing. Jiřího Friese, Ph.D.**

**Informace na této stránce jsou v režimu utajení a jsou dostupné oproti podpisu
mlčenlivosti u vedoucího práce doc. Ing. Jiřího Friese, Ph.D.**

**Informace na této stránce jsou v režimu utajení a jsou dostupné oproti podpisu
mlčenlivosti u vedoucího práce doc. Ing. Jiřího Friese, Ph.D.**

**Informace na této stránce jsou v režimu utajení a jsou dostupné oproti podpisu
mlčenlivosti u vedoucího práce doc. Ing. Jiřího Friese, Ph.D.**

**Informace na této stránce jsou v režimu utajení a jsou dostupné oproti podpisu
mlčenlivosti u vedoucího práce doc. Ing. Jiřího Friese, Ph.D.**

**Informace na této stránce jsou v režimu utajení a jsou dostupné oproti podpisu
mlčenlivosti u vedoucího práce doc. Ing. Jiřího Friese, Ph.D.**

**Informace na této stránce jsou v režimu utajení a jsou dostupné oproti podpisu
mlčenlivosti u vedoucího práce doc. Ing. Jiřího Friese, Ph.D.**

**Informace na této stránce jsou v režimu utajení a jsou dostupné oproti podpisu
mlčenlivosti u vedoucího práce doc. Ing. Jiřího Friese, Ph.D.**

4.3 Určení hmotnosti protizávaží

Hmotnost protizávaží se počítá jako hmotnost klece plus polovina nosnosti výtahu. Protizávaží bývají ocelové, ocelobetonové. Já volím možnost ocelobetonovou o vypočítané hmotnosti 727 Kg.

Hmotnost protizávaží:

$$m_{pr} = \frac{Q}{2} + P \quad (4.15)$$

$$m_{pr} = \frac{450}{2} + 502$$

$$m_{pr} = 727 \text{ Kg}$$

4.4 Určení maximálního počtu osob ve výtahu

Dle normy ČSN EN 81-1 je počet osob omezen nosností výtahu a velikostí plochy půdorysu kabiny. To vše proto aby se nemohlo stát, že bude výtah přetížen. Maximální hmotnost co do výtahu můžeme dát nám hlídají snímače zátěže a dodržení předepsaného počtu osob zajistí omezení půdorysu dle tabulky níže. Tabulku jsem převzal z normy

Počet osob určených z nosnosti zařízení:

$$o = \frac{Q}{75} = \frac{450}{75} = 6 \text{ osob} \quad (4.16)$$

Výpočet užité plochy kabiny

$$S_K = \check{S} \cdot HL \quad (4.17)$$

$$S_K = 0,800 \cdot 1,300$$

$$S_K = 1,04 \text{ m}^2$$

Tab. 6. Závislost užité plochy klece výtahu na nosnosti (převzato z normy [8])

Nosnost výtahu	Největší užitná plocha kabiny	Nosnost výtahu	Největší užitná plocha kabiny
[kg]	[m ²]	[kg]	[m ²]
100 ¹⁾	0,37	900	2,2
180 ²⁾	0,58	975	2,35
225	0,7	1000	2,4
300	0,9	1050	2,5
375	1,1	1125	2,65
400	1,17	1200	2,8
450	1,3	1250	2,9
525	1,45	1275	2,95
600	1,6	1350	3,1
630	1,66	1425	3,25
675	1,75	1500	3,4
750	1,9	1600	3,56
800	2	2000	4,2
825	2,05	2500 ³⁾	5
Pro mezihodnoty nosnosti se plocha lineárně interpoluje. 1) výtah pro minimálně jednu osobu 2) výtah pro minimálně dvě osoby 3) při více než 2500 kg je potřeba přidat 0,16 m ² na každých 100 kg			

Má užitná plocha je 1,04 m² zatímco největší možná dle tabulky 6. je 1,3 m², což znamená že to VYHOVUJE.

4.5 Výpočet nosných lan

Lano jsem volil dle standartu firmy Liftservis. Zvolené lano je ocelové splétané lano typ PAWO F3 o průměru 6 mm, druh SEAL 6 x 19.

Potřebné parametry pro výpočet lana:

- Průměr lana: $d = 6 \text{ mm}$
- Počet lan: $n = 5$
- Zaručená únosnost lana: 27 500 N
- Hmotnost 1 m délky lana: 0,145 kg/m
- Průměr hnacího kotouče: $D_t = 450 \text{ mm}$
- Střední průměr všech kladek: $D_p = 450 \text{ mm}$

- Počet kladek s ohybem ve stejném smyslu: $N_{ps} = 4$
- Počet kladek se střídavým ohybem: $N_{pr} = 0$
- Ekvivalentní počet hnacích kotoučů: $N_{equiv(t)} = 3$

Celková síla na lanech:

$$F_C = \frac{(Q+P) \cdot g}{2} + n \cdot L_K \cdot g \cdot q_l \quad (5.1)$$

$$F_C = \frac{(450 + 502) \cdot 9,81}{2} + 5 \cdot 31,4 \cdot 9,81 \cdot 0,145$$

$$F_C = 4\,893 \text{ N}$$

Síla na každém laně:

$$F_Z = \frac{F_C}{n} \quad (5.2)$$

$$F_Z = \frac{4893}{5} = 979 \text{ N}$$

Stanovení požadované bezpečnosti

Typ drážky pro lano je klínová. Od toho se odvíjí ekvivalentní počet hnacích kotoučů, jenž je roven třemi.

Výpočet součinitele k_p :

$$k_p = \left(\frac{D_t}{D_p} \right)^4 \quad (5.3)$$

$$k_p = \left(\frac{240}{240} \right)^4$$

$$k_p = 1$$

Ekvivalentní počet lanových kladek:

$$N_{\text{equiv}(p)} = k_p \cdot (N_{ps} + 4 \cdot N_{pr}) \quad (5.4)$$

$$N_{\text{equiv}(p)} = 1 \cdot (4 + 4 \cdot 0)$$

$$N_{\text{equiv}(p)} = 4$$

Ekvivalentní počet ovládacích kladek

$$N_{\text{equiv}} = N_{\text{equiv}(t)} + N_{\text{equiv}(p)} \quad (5.5)$$

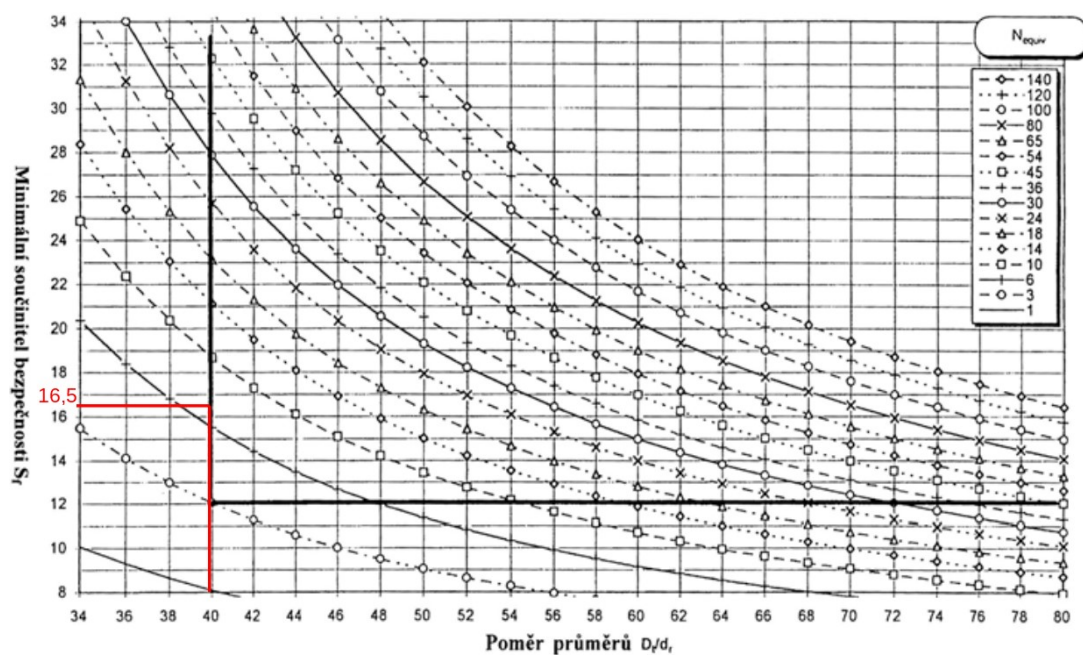
$$N_{\text{equiv}} = 3 + 4$$

$$N_{\text{equiv}} = 7$$

Poměr hnacího kotouče a průměru lana:

$$\frac{D_t}{d} = \frac{240}{6} = 40 \quad (5.6)$$

Podle vypočtených parametrů zvolím z grafu 1 minimální požadovanou bezpečnost lana.



Graf. 1. graf bezpečnosti lan [7]

Minimální požadovaná bezpečnost lana dle grafu jedna je: $k_G = 16,5$

Bezpečnost lana:

$$k_{\text{vyp}} = \frac{F_1}{F_z} = \frac{27500}{979} = 28,1 \quad (5.7)$$

$$k_{\text{vyp}} = \frac{27500}{979}$$

$$k_{\text{vyp}} = 28,1$$

$$k_{\text{vyp}} \geq k_G \quad (5.8)$$

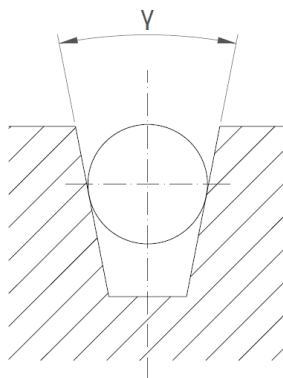
$$28,1 > 16,5 \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

Zvolené lano vyhovuje s dostatečnou bezpečností.

4.6 Trakční výpočty

Kontrolu trakce provádíme pro několik kritických stavů jakými jsou: nakládání klece v dolní stanici zatížena 125% nosností, prázdná kabina v horní stanici (stojící klec), plná kabina při pohybu dolů (nouzové zastavení). Pokud výpočtem potvrdíme všechny vyhovující stavy lano výtahu nebude za žádných okolností prokluzovat.

Výpočet součinitele tření pro klínovou drážku



Obr. 68. Klínová drážka

Úhel klínu je převzat z katalogu poháněcího stroje MGV25S. Úhel $\gamma = 50^\circ$. Úhel vidíme znázorněný na obrázku 68.

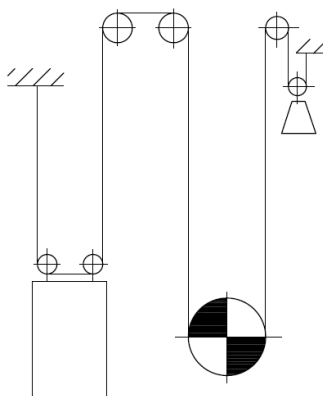
Součinitel tření v klínové drážce je:

$$f = \frac{\mu}{\sin \frac{\gamma}{2}} \quad (6.1)$$

$$f = \frac{0,09}{\sin \frac{50}{2}}$$

$$f = 0,213$$

Kontrola trakce



Obr. 69. Schéma lanování

Hmotnost lan nad klecí

$$m_{nkl} = n \cdot L_k \cdot q_l \cdot i \quad (6.2)$$

$$m_{nkl} = 5 \cdot 31,4 \cdot 0,145 \cdot 2$$

$$m_{nkl} = 45,53 \text{ kg}$$

Hmotnost lan nad protizávaží

$$m_{npr} = n \cdot L_z \cdot q_l \cdot i \quad (6.3)$$

$$m_{npr} = 5 \cdot 26,8 \cdot 0,145 \cdot 2$$

$$m_{npr} = 38,86 \text{ kg}$$

Podmínka při nakládání klece, kabina zatížena na 125% nosnosti v dolní stanici

Výpočet tažné síly na straně klece:

$$T_1 = (1,25 \cdot Q + P + m_{nkl}) \cdot \frac{g}{i} \quad (6.2)$$

$$T_1 = (1,25 \cdot 450 + 502 + 45,53) \cdot \frac{9,81}{2}$$

$$T_1 = 5\,445 \text{ N}$$

Výpočet tažné síly na straně protizávaží:

$$T_2 = m_{pr} \cdot \frac{g}{i} \quad (6.3)$$

$$T_2 = 727 \cdot \frac{9,81}{2}$$

$$T_2 = 3\,566 \text{ N}$$

Trakční schopnost

$$\frac{T_1}{T_2} \leq e^{f \cdot \alpha} \quad (6.4)$$

$$\frac{5\,445}{3\,566} \leq e^{0,213 \cdot 180}$$

$$1,5269 < 1,9523 \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

Podmínka při stojící kleci, prázdná kabina v horní stanici

Výpočet tažné síly na straně klece:

$$T_1 = P \cdot \frac{g}{i} \quad (6.5)$$

$$T_1 = 502 \cdot \frac{9,81}{2}$$

$$T_1 = 2\,462 \text{ N}$$

Výpočet tažné síly na straně protizávaží:

$$T_2 = m_{npr} \cdot \frac{g}{i} \quad (6.6)$$

$$T_2 = 38,86 \cdot \frac{9,81}{2}$$

$$T_2 = 191 \text{ N}$$

Trakční schopnost

$$\frac{T_1}{T_2} \leq e^{f \cdot \alpha} \quad (6.7)$$

$$\frac{2\,462}{191} \leq e^{0,213 \cdot 180}$$

$$12,9182 < 1,9523 \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

Podmínka při nouzovém zastavování, plná kabina při pohybu dolů

Výpočet tažné síly na straně klece:

$$T_1 = (Q + P) \cdot \frac{g+a}{i} + m_{nkl} \cdot g \quad (6.8)$$

$$T_1 = (450 + 502) \cdot \frac{9,81 + 1}{2} + 45,53 \cdot 9,81$$

$$T_1 = 5\,592 \text{ N}$$

Výpočet tažné síly na straně protizávaží:

$$T_2 = m_{pr} \cdot \frac{g-a}{i}$$

$$(6.9)$$

$$T_2 = 727 \cdot \frac{9,81 - 1}{2}$$

$$T_2 = 3\,202 \text{ N}$$

Trakční schopnost

$$\frac{T_1}{T_2} \leq e^{f \cdot \alpha} \quad (6.10)$$

$$\frac{5\,592}{3\,202} \leq e^{0,213 \cdot 180}$$

$$1,7462 < 1,9523 \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

Podmínka při nouzovém zastavování, prázdná kabina v horní poloze

Výpočet tažné síly na straně protizávaží:

$$T_1 = (m_{pr} + m_{npr}) \cdot \frac{g+a}{i} \quad (6.11)$$

$$T_1 = (727 + 38,86) \cdot \frac{9,81 + 1}{2}$$

$$T_1 = 4\,139 \text{ N}$$

Výpočet tažné síly na straně kabiny:

$$T_2 = P \cdot \frac{g-a}{i} \quad (6.12)$$

$$T_2 = 502 \cdot \frac{9,81 - 1}{2}$$

$$T_2 = 2\,211 \text{ N}$$

Trakční schopnost

$$\frac{T_1}{T_2} \leq e^{f \cdot \alpha} \quad (6.13)$$

$$\frac{4\,139}{2\,211} \leq e^{0,213 \cdot 180}$$

$$1,872 < 1,9523 \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

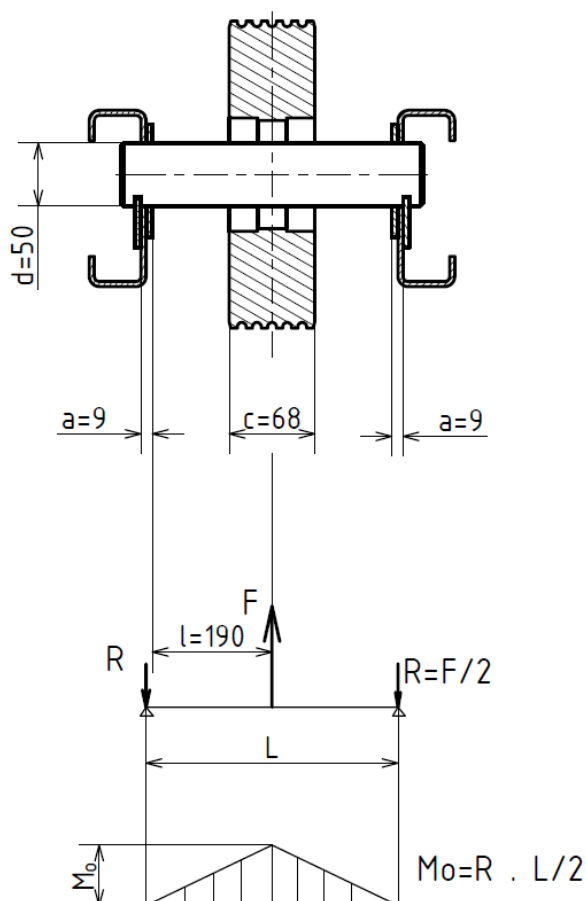
Všechny kontroly trakce vyhovují. To znamená, že při jakkoliv nepříznivé situaci nedojde k prokluzu lan v kladkách.

4.7 Kontrola osy kladek analyticky a pomocí metody MKP

Tato kapitola se zabývá kontrolou nepohyblivé osy kladek. Dále zde uvádím kontrolu osy na smyk a kontrolu na dovolený měrný tlak. Osa kladky se namáhá vlivem ohybového momentu a smykem od posouvajících se sil. Průměr osy d_o se vypočte z podmínky místa největšího ohybového namáhání. Tento průměr následně zkontroluji na smyk. Dále musí vyhovovat délky náboje kladky i uložení čepu v rámu vůči podmínce pro měrný střední tlak. Pro kontrolu a porovnání výsledků zde uvádím také MKP výpočet té samé součásti.

a) Analytický výpočet

Zadané hodnoty vidíme zakreslené do obrázku 70. Všechny hodnoty jsou v milimetrech. Určení síly působící na jednu osu vypočítám ze vzorce 7.2. Sílu dělím dvěma jelikož rám nesou dvě kladky uložené na dvou osách.



Obr. 70. Rozložení sil na čepu

Určení zatěžující síly působící na jednu osu

$$2 \cdot F = (Q_{125\%} + m_k + m_o + m_r) \cdot (g + a) \quad (7.1)$$

$$2 \cdot F = (563 + 260 + 70 + 172) \cdot (9,81 + 1)$$

$$2 \cdot F = 11\,513 \text{ N}$$

$$F = \frac{11\,513}{2} \quad (7.2)$$

$$F = 5\,757 \text{ N}$$

Výpočet maximálního ohybového napětí

$$\sigma_o = \frac{M_o}{W_o} \leq \sigma_{Do} \quad (7.3)$$

$$\sigma_o = \frac{R \cdot \frac{L}{2}}{\frac{\pi}{32} \cdot d_{os}^3} \quad (7.4)$$

$$\sigma_o = \frac{\frac{F}{2} \cdot \frac{L}{2}}{\frac{\pi}{32} \cdot d_{os}^3} = \frac{8 \cdot F \cdot L}{\pi \cdot d_{os}^3}$$

$$\sigma_o = \frac{8 \cdot F \cdot (a + l)}{\pi \cdot d_{os}^3}$$

$$\sigma_o = \frac{8 \cdot 5\,757 \cdot (9 + 190)}{\pi \cdot 50^3}$$

$$\sigma_o = 23,34 \text{ MPa}$$

$$\sigma_o \leq \sigma_{Do}$$

$$23,34 \leq 60 \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

Dovolené napětí v ohybu ze vzorce 7.3 jsem zvolil dle tabulky 7. V rozpětí hodnot volím vždy nejnižší abych si byl stoprocentně jistý, že materiál vydrží.

Tab. 7. Dovolené hodnoty namáhání v ohybu os [2]

Jakost materiálu osy	σ_{D0} [MPa]	τ_D [MPa]
11 373	60 - 90	55 - 75
11 425	70 - 100	60 - 80
11 500	80 - 110	65 - 90
11 600	90 - 130	80 - 110

Vzhledem k použitému materiálu 11 373 jsem zvolil hodnotu $\sigma_{D0} = 60$ MPa.

Kontrola průměru osy $d_o = 50$ mm na smyk

$$\tau_{MAX} = \frac{4}{3} \cdot \tau \leq \tau_D \quad (7.5)$$

$$\tau_{MAX} = \frac{4}{3} \cdot \frac{F}{S_o} = \frac{4}{3} \cdot \frac{F}{\pi \cdot \frac{d_{os}^2}{4}} \quad (7.6)$$

$$\tau_{MAX} = \frac{4}{3} \cdot \frac{5757}{\pi \cdot \frac{50^2}{4}}$$

$$\tau_{MAX} = 3,91$$

$$3,91 \text{ MPa} \leq 55 \text{ MPa} \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

Kontrola měrného středního tlaku délky náboje kladky

$$p_1 = \frac{F}{l \cdot d_{os}} \leq p_{D1} \quad (7.7)$$

$$\frac{5757}{190 \cdot 50} \leq 3$$

$$0,606 < 3 \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

Dovolený měrný tlak mezi ložiskem a čepem volím 3 MPa dle tabulky ze skript [2] str. 90. Nekalená ocel na litině.

Kontrola měrného středního tlaku délky uložení čepu

$$p_2 = \frac{R}{a \cdot d_{os}} = \frac{F}{2 \cdot a \cdot d_{os}} \leq p_{D2} \quad (7.8)$$

$$p_2 = \frac{F}{2 \cdot a \cdot d_{os}}$$

$$p_2 = \frac{5757}{2 \cdot 9 \cdot 50}$$

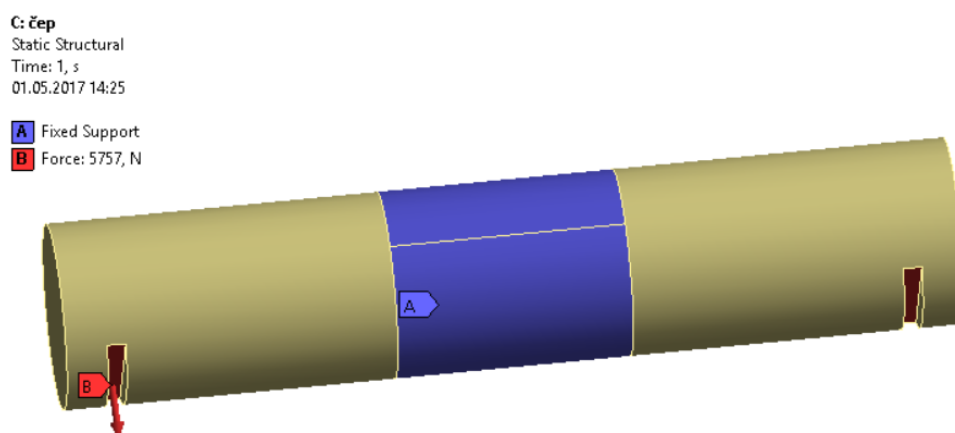
$$p_2 = 6,397$$

$$6,397 < 100 \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

Dovolený měrný tlak mezi pánví a osou volím 100 MPa dle tabulky ze skript [2] str. 90. Materiál pánve ložiska ocel.

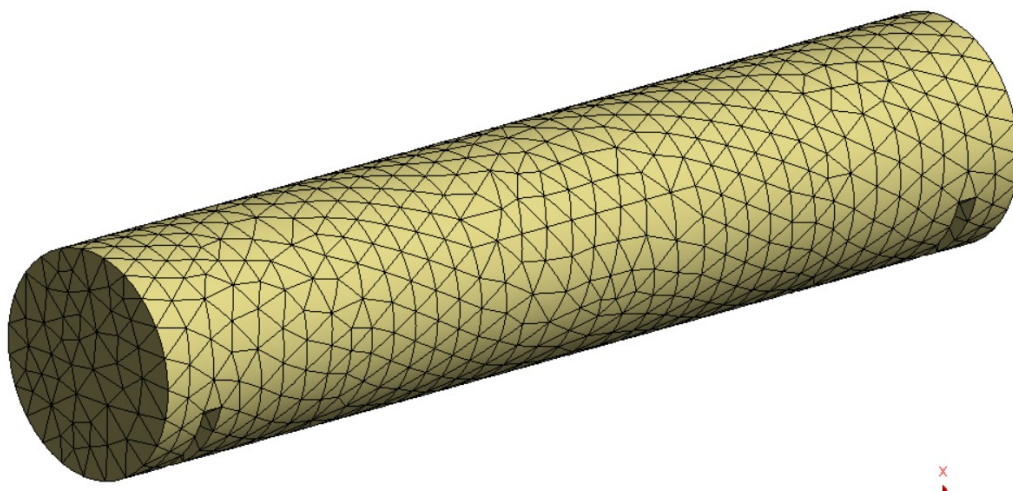
b) Výpočet pomocí MKP analýzy

Pro lepší kontrolu a pro porovnání výsledků uvádím výpočet osy kterou jsem nejprve zkontroloval analyticky. Kontrolu provedu v programu ANSYS Workbench. Na obrázku 71. vidíme modře označenou oblast, kde je umístěna pevná vazba. Pevná vazba leží v místech, kde je čep spojen s kladkou. Červeně označené jsou síly působící od rámu s kabinou a nákladem. Jelikož síla působící na válcovou plochu umístit v programu ANSYS nedá ponechal jsem zářezy pro pojištění hřídele proti axiálnímu pohybu. Sice jsem tím vytvořil vruby a zeslabil průřez, ale chyba je zanedbatelná, jelikož největší napětí se nachází u kladky.



Obr. 71. Nepohyblivá osa kladky

V dalším kroku jsem osu vysítával. Automaticky vygenerovaná síť byla příliš hrubá proto jsem zmenšil velikost elementu. Element jsem nastavil na velikost 2 mm. Typ elementu jsem zvolil čtyřstěn. Tyto nastavení vedly k podobě sítě, jenž můžeme vidět na obrázku 72.

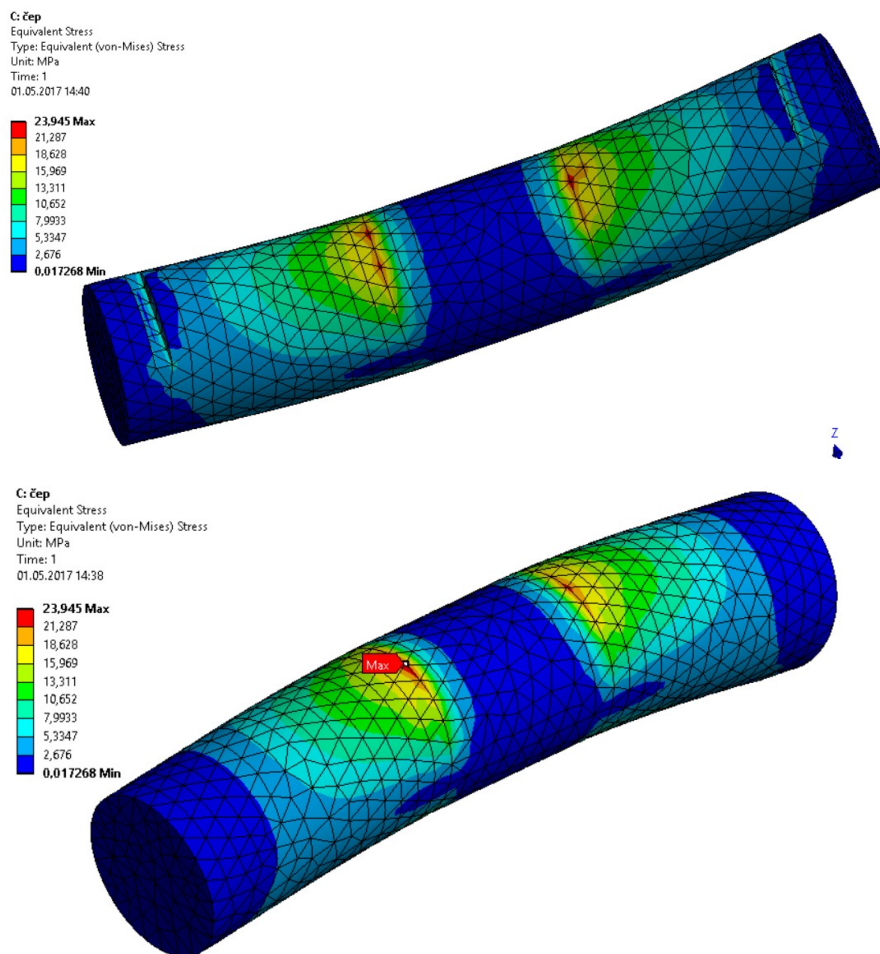


Obr. 72. Vysítovaný model

Po určení vazeb nutných k fixaci modelu v prostoru a určení, definování zatížení jsem přistoupil k samotné simulaci. Při průběhu výpočtu jsem zjistil, že mám pře příliš jemnou síť a výpočet trval příliš dlouho na takto jednoduchou součást proto jsem zvýšil velikost prvku na 7 mm.

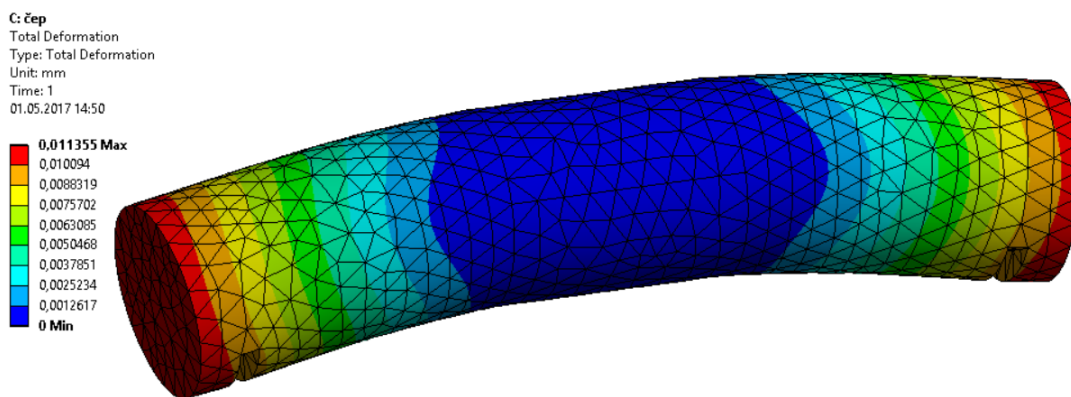
Výsledky

simulace:



Obr. 73. Výsledek statické analýzy

Na obrázku 73. vidíme nejnamáhanější místa obarvená červeně a naopak modrá znamenají nejmenší redukovaná napětí. Nejvíce namáhané místo je tam kde působí největší ohybový moment tedy v místě kde síla působí na nejdelším rameni. Z obrázku je dobře patrné, že jsou namáhány vrstvy v horní polovině na tah a v dolní polovině na tlak. Materiál čepu je ocel 11 373 která má mez kluzu $R_e = 220$ MPa. Pokud porovnáme mez kluzu materiálu a největší napětí kter je téměř 24 MPa, zjistíme, že součást VYHOVUJE. A vyhovuje s bezpečností $k_o = 9$.



Obr. 74. Výsledek deformační analýzy osy kladky

Pomocí analýzy deformace jsme zjistili, že osa je dosti tuhá, ož požadujeme pro správnou funkci ložisek. Na obrázku 74. vidíme deformaci hřídele několikanásobně zvětšenou, pouhým okem bychom ji totiž nezachytili. Největší posunutí je na krajích osy a nabývá hodnoty 0,01 mm což je zanedbatelná hodnota.

Tab. 8. Porovnání výsledků MKP a analytické metody

srovnání výsledků	
Popis:	σ [MPa]
MKP analýza	23,945
analytická metoda	23,34

Hodnoty výpočtů analytických a MKP vydíme přehledně zapsané v tabulce 8. Pokud obě hodnoty porovnáme zjistíme, že jsou takřka stejné tím usuzuji, že jsem provedl simulaci správně.

Jak jsem uvedl v předešlém případě jsou výsledky z MKP analýzy správné a blízké k reálné hodnotě maximálního namáhání. Konstrukce výtahového rámu má mnoho součástí a je tvarově složitá. To způsobuje časovou náročnost analytických výpočtů. Právě proto jsem pevnostní výpočty provedl pomocí metody konečných prvků. Jejich správnost jsem si ověřil při dvojí kontrole osy kladky.

5 ZÁVĚR

Vytvořil jsem řešerši zabývající se výtahy. V řešerši jsem uvedl, co je to pojem výtah, jaké jsou základní parametry, z čeho se skládá a co musí obsahovat. Dále zde uvádím mnoho dělení výtahů ať už podle umístění strojovny, typu pohonu nebo typu přepravy. Výtah mající nepřetržitý typ přepravy nazývaný páternoster je z hlediska nových norem nevyhovující a nesmí se konstruovat nové. Avšak už zavedené páternostery můžeme udržovat v činnosti (mají výjimku). V řešerši dále vypisuji základní prvky jenž jsou součástí celého výtahu i s šachtou.

Druhým krokem v mé práci je popis konstrukce, kterou jsem vymodeloval v programu CAD Autocad Inventor 2017. Konstrukce je navrhnutá tak aby se dala rozebrat, převést a znova smontovat ve výtahové šachtě. Právě proto většina spojů je tvořena šrouby. Avšak ne všude je tohoto spojení užito. Pro kompletaci tvarově složitých dílů jako jsou podlahové vzpěry jsem použil svary. Svary mi zajistí pevnou a tuhou konstrukci tohoto složitého dílu a zároveň udrží nízkou hmotnost. Výpočet svarů je nahrazen MKP analýzou celého rámu. Konstrukce rámu je navrhnutá v souladu s platnými normami a dostatečně dimenzována pro spolehlivou a bezpečnou přepravu osob a majetku.

Hlavním cílem této diplomové práce bylo pevnostně a deformačně zkontrolovat navrhnutý rám. Toto jsem provedl pomocí metody konečných prvků. Simulaci jsem prováděl na modelu vytvořeném v Inventoru 2017 a pro simulaci použil program ANSYS Workbench 16. Tento program jsem vybral z důvodu velkého množství nastavení simulace a také jeho uživatelské přívětivosti (nepříliš náročný a HW nároky). Při první várce výsledků (při simulaci použito klasického 3D modelu) jsem zjistil, že výsledky nejsou úplně průkazné jelikož na modelu nebylo tolik viditelné postupné zvětšování napětí až k maximu. Navíc umístění maximálního napětí nevyhovovalo. Bylo umístěno do rádiusu poblíž místa působení laku namísto v místě s největším předpokládaným ohybovým momentem. Právě z těchto důvodů jsem provedl simulaci za použití střednicových ploch. Výsledek této simulace je dle mého názoru nejlepší možný. Jeho umístění je dle předpokladu v místě, kde působí největší ohybový moment. Růst napětí je pozvolný a né skokový což svědčí o správnosti simulace. Největší deformace rámu je 0,72 mm což znamená, že má konstrukce je dostatečně tuhá. Maximální redukované napětí které je počítáno pomocí metody von-Mises je 106 MPa. Mnou vybraný materiál má nejmenší mez kluzu 220 MPa. Při porovnání

maximálního napětí s nejmenší hodnotou meze skluzu jsem zjistil, že rám pevnostně vyhovuje

Posledním krokem bylo provedení kontroly trakce ve všech nejméně příznivých podmínkách. Při provedení výpočtů jsem zjistil, že ani v jednom případě lano v třecím kotouči neproklouzne udiš konstrukce vyhovuje. Taktéž kontrola lana proběhla bez chyb a vyhověla. Jako poslední výpočet jsem provedl kontrolu průměru osy jenž bez potíží a s velkou bezpečností vyhovuje.

Seznam použité literatury

a) Knižní publikace

- [1] LEINVEBER, Jan a Pavel VÁVRA. Strojnické tabulky: pomocná učebnice pro školy technického zaměření. 3., dopl. vyd. Úvaly: Albra, 2006. ISBN 80-7361033-7.
- [2] KALÁB, Květoslav. Části a mechanismy strojů pro bakaláře. Ostrava: VŠB-Technická univerzita Ostrava, 2008. ISBN 978-80-248-1860-3.
- [3] POLÁK, Jaromír a Aleš SLÍVA. Dopravní a manipulační zařízení III. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, 2005. ISBN 80-248-0963-X.
- [4] JEŘÁBEK, Karel. Metodika navrhování strojů. Praha: Vydavatelství ČVUT, 1999. ISBN 80-01-02012-6.
- [5] JANOVSKEÝ, Lubomír a Josef DOLEŽAL. Výtahy a eskalátory. Praha: SNTL-Nakladatelství technické literatury, 1980. Technický průvodce (SNTL-Nakladatelství technické literatury).
- [6] KAŠPÁREK, Jaroslav. Dopravní a manipulační zařízení. Vysoké učení technické v Brně.

b) Použité normy

- [7] Norma ČSN EN 12385-5: Ocelová drátěná lana - Bezpečnost. Praha: ČNI, 2004.
- [8] Norma ČSN EN 81-1+A3: Bezpečnostní předpisy pro konstrukci a montáž výtahů. Praha: ČNI, 1999.

c) Internetové zdroje

- [9] Výtah. Hackmath [online]. [cit. 2017-05-01]. Dostupné z: <https://www.hackmath.net/cz/uloha/1337>
- [10] Páternoster. Wikipedia [online]. San Francisco, 2016 [cit. 2017-05-01]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/P%C3%A1ternoster>
- [11] Páternostery. Paternoster [online]. Praha [cit. 2017-05-01]. Dostupné z: <http://paternoster.archii.cz/pn-mmr.html>
- [12] HV Výtahy. ZV Servis s.r.o. [online]. Opava, 2011 [cit. 2017-05-01]. Dostupné z: <https://www.hv-vytahy.cz/foto/384/>
- [13] V Miami. Novinky.cz [online]. Praha, 2013 [cit. 2017-05-01]. Dostupné z: <https://www.novinky.cz>

- [14] Stavební výtahy. Hoz Holub [online]. Krásná hora [cit. 2017-05-01]. Dostupné z: <http://www.hozholub.cz/11854/stavebni-vytahy/>
- [15] Výtahový stroj. EMBrno [online]. Brno [cit. 2017-05-01]. Dostupné z: <http://www.embrno.cz>
- [16] Řetěz. Contra [online]. Praha, 2015 [cit. 2017-05-01]. Dostupné z: <http://www.contra.cz>
- [17] Otis Worldwide. Luraydesign [online]. [cit. 2017-05-01]. Dostupné z: <http://build.luraydesign.com>
- [18] Progresivní zachycovač. Frontier-components [online]. Praha [cit. 2017-05-01]. Dostupné z: <http://frontier-components.com>
- [19] Kabina výtahu. HV Výtahy s.r.o. [online]. Opava, 2011 [cit. 2017-05-01]. Dostupné z: <https://www.hv-vytahy.cz/foto/150/>
- [20] Výtah. Staré výtahy [online]. Brno, 2017 [cit. 2017-05-01]. Dostupné z: <http://www.starevytahy.cz/jidelni/jidelni2/index.php>
- [21] Nárazníky. Výtahové díly [online]. Plzeň [cit. 2017-05-01]. Dostupné z: <http://www.vytahovedily.com>
- [22] Nárazníky. Výtahové díly [online]. Plzeň [cit. 2017-05-01]. Dostupné z: <http://www.vytahovedily.com>
- [23] Nárazníky. Výtahové díly [online]. Plzeň [cit. 2017-05-01]. Dostupné z: <http://www.vytahovedily.com>
- [24] Zachycovače. Výtahové díly [online]. Plzeň [cit. 2017-05-01]. Dostupné z: <http://www.metallift.cz>
- [25] Maznice. Výtahové díly [online]. Plzeň [cit. 2017-05-01]. Dostupné z: <http://www.vytahovedily.com>
- [26] Polyamidová kladka. Frontier-components [online]. [cit. 2017-05-01]. Dostupné z: <http://test.frontier-components.cz>
- [27] UC-P 2000KG. AliExpress [online]. [cit. 2017-05-01]. Dostupné z: <https://www.aliexpress.com>
- [28] Francie. Slideshare [online]. 2010 [cit. 2017-05-01]. Dostupné z: <https://www.slideshare.net/guestf69010/france-alsace-lorraine>
- [29] Hornické muzeum. Commons Wikimedia [online]. 2010 [cit. 2017-05-01]. Dostupné z: <https://commons.wikimedia.org>
- [30] VÝTAHOVÝ STROJ. Top kontakt [online]. [cit. 2017-05-01]. Dostupné z: <http://produkty.topkontakt.idnes.cz>

PŘÍLOHY

Výkresy (seznam čísel výkresů):

DRKV-900-0-0-0-0

DRKV-900-1-0-0

DRKV-900-1-0-1

DRKV-900-1-0-2

DRKV-900-1-0-3

DRKV-900-1-0-4

DRKV-900-2-0-0

DRKV-900-2-0-1

DRKV-900-2-0-2

DRKV-900-2-0-3

DRKV-900-2-0-4

DRKV-900-1-1-0

DRKV-900-1-1-1

DRKV-900-1-1-2

DRKV-900-3-2-1

DRKV-900-3-3-0

DRKV-900-3-3-1

DRKV-900-3-3-2

DRKV-900-3-3-3

Datový nosič CD s elektronickou verzí diplomové práce a výkresovou dokumentací.

Přílohy jsou v režimu utajení dostupné a jsou dostupné oproti podpisu mlčenlivosti u vedoucího práce doc. Ing. Jiřího Friese, Ph.D.